

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005 年 9 月 29 日 (29.09.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/090009 A1

(51) 国際特許分類: B25J 5/00  
(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/002561  
(22) 国際出願日: 2005 年 2 月 18 日 (18.02.2005)  
(25) 国際出願の言語: 日本語  
(26) 国際公開の言語: 日本語  
(30) 優先権データ:  
特願2004-085601 2004 年 3 月 23 日 (23.03.2004) JP  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 本田技研工業株式会社 (HONDA MOTOR CO., LTD.) [JP/JP];  
〒1078556 東京都港区南青山二丁目 1 番 1 号 Tokyo (JP).

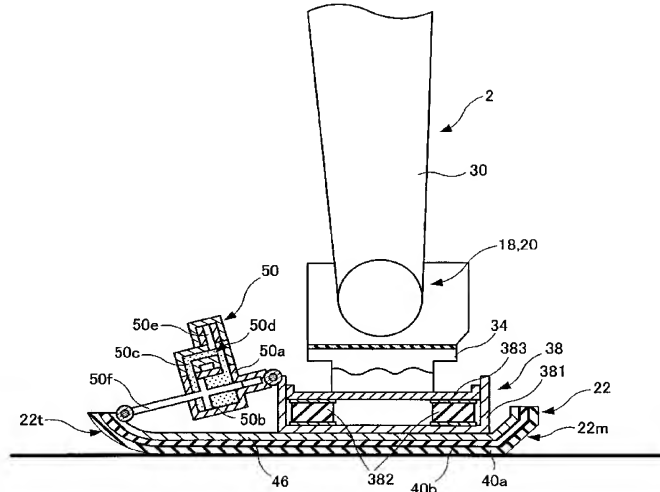
(72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 竹中 透 (TAKE-NAKA, Toru) [JP/JP]; 〒3510193 埼玉県和光市中央一丁目 4 番 1 号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP). 五味 洋 (GOMI, Hiroshi) [JP/JP]; 〒3510193 埼玉県和光市中央一丁目 4 番 1 号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP). 宮崎 進 (MIYAZAKI, Susumu) [JP/JP]; 〒3510193 埼玉県和光市中央一丁目 4 番 1 号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP). 浜谷 一司 (HAMAYA, Kazushi) [JP/JP]; 〒3510193 埼玉県和光市中央一丁目 4 番 1 号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP).

(74) 代理人: 吉田 豊 (YOSHIDA, Yutaka); 〒1700013 東京都豊島区東池袋一丁目 2 〇 番 2 号 池袋ホワイトハウスビル 8 1 6 号 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: LEGGED MOBILE ROBOT AND CONTROL DEVICE THEREFOR

(54) 発明の名称: 脚式移動ロボットおよびその制御装置



(57) Abstract: A legged mobile robot (1) and a control device for the robot, the robot comprising leg parts (22, 222, 223, 224) having leg part bodies (22m, 222m, 223m, 224m) and toe parts (22t, 222t, 223t, 224t) formed at the front end of the leg part body and allowed to bent and a bend angle holding mechanism (damper (50), friction brake (60)) capable of holding the bend angle ( $\theta t$ ) of the toe part. In the control device for the robot, the bend angle of the toe part is held when the leg part leaves a floor or at a first timing (t1) before the leg part leaves the floor, and the toe part is returned to an initial position at a second timing (t2) after the leg part leaves the floor. Accordingly, since the bend angle when the leg part leaves the floor can also be continuously held after the leg part leaves the floor, the attitude of the robot can be prevented from becoming unstable by the contact of the toe part with the surface of the floor immediately after the leg part leaves the floor. Also, the stability of the robot when it stands on tiptoe can also be increased.

(57) 要約: 脚式移動ロボット (1) において、足部 (22, 222, 223, 224) が、足部本体 (22m, 222m, 223m, 224m) と、足部本体の前端に設けられ、屈曲自在な爪先部 (22t, 222t, 223t, 224t) とからなると共に、爪先部の屈曲角 ( $\theta t$ ) を保持自在な屈曲角保持機構 (ダンパ 50、摩擦ブレーキ 60) を備えるように構成した。また、脚式移動ロボットの制御装置におい

[続葉有]

WO 2005/090009 A1



(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

ては、脚部の離床時あるいはそれよりも前の第1のタイミング（t1）で爪先部の屈曲角を保持し、脚部が離床した後の第2のタイミング（t2）で爪先部を初期位置に復帰させるように構成した。それにより、脚部の離床後も離床時の屈曲角を保持し続けることができ、よって離床直後に爪先部が床面に接触して姿勢が不安定になるのを防止することができる。また、爪先立ちしているときの安定性も向上させることができる。

## 明 細 書

### 脚式移動ロボットおよびその制御装置

#### 技術分野

- [0001] この発明は、脚式移動ロボットおよびその制御装置に関し、より詳しくは、足部に屈曲自在な爪先部を備えた脚式移動ロボットとその制御装置に関する。

#### 背景技術

- [0002] 従来、脚式移動ロボットの足部に屈曲自在な爪先部を設けた技術が提案されている。この種の脚式移動ロボットの例として、例えば特許文献1に記載される技術を挙げることができる。特許文献1に係る技術にあつては、足部の前端に設けられた上下に回動自在な爪先部と、爪先部の屈曲角が零度(ほぼ水平)となる位置で当該爪先部の回動をロックするロック機構とを備え、脚部が着床する以前に爪先部の回動をロックすることによって着床に必要な接地面積を確保すると共に、脚部が離床する以前にロックを解除することによって蹴り出し動作時に爪先部を退避回動(屈曲)させるように構成している。

特許文献1:特開2003-236777号公報(段落0011, 0012、図2、図10など)

#### 発明の開示

#### 発明が解決しようとする課題

- [0003] しかしながら、上記した特許文献1に係る従来技術にあつては、脚部の離床時に爪先部がフリー(回動自在)の状態にあることから、離床直後に爪先部が初期位置(屈曲角が零度の位置)に復帰し、爪先部が床面に接触してロボットの姿勢が不安定になるおそれがあった。
- [0004] また、例えば階段を上るときのように、支持脚後期に爪先立ちの期間が長く発生する場合、爪先部がフリーの状態にあると安定した姿勢制御を行うのが難しいという不具合があった。
- [0005] 従って、この発明の目的は上記した課題を解決することにより、離床直後に爪先部が床面に接触して姿勢が不安定になるのを防止すると共に、爪先立ちしているときの安定性を向上させるようにした脚式移動ロボットおよびその制御装置を提供すること

にある。

### 課題を解決するための手段

- [0006] この発明は、上記した課題を解決するために、後述する請求項1に記載する如く、上体と、上端が前記上体に連結される一方、下端に足部が連結される脚部とを備え、前記脚部を駆動して移動する脚式移動ロボットにおいて、前記足部が、前記脚部に連結される足部本体と、前記足部本体の前端に設けられ、前記足部本体に対して屈曲自在な爪先部とからなると共に、前記爪先部の屈曲角を前記爪先部の可動範囲で保持自在な屈曲角保持機構を備えるように構成した。
- [0007] また、この発明は、後述する請求項2に記載する如く、前記爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構を備えるように構成した。
- [0008] また、この発明は、後述する請求項3に記載する如く、前記爪先部が、前記足部本体に連続すると共に、撓みつつ屈曲する弾性材からなるように構成した。
- [0009] また、この発明は、後述する請求項4に記載する如く、前記爪先部が、ピッチ軸回りに回転自在な回転軸を介して前記足部本体の前端に連結されるように構成した。
- [0010] また、この発明は、後述する請求項5に記載する如く、前記爪先部を初期位置に復帰させる方向に付勢する付勢手段を備えるように構成した。
- [0011] また、この発明は、後述する請求項6に記載する如く、前記屈曲角保持機構が、摩擦ブレーキからなるように構成した。
- [0012] また、この発明は、後述する請求項7に記載する如く、前記屈曲角変化抑制機構が、ダンパからなるように構成した。
- [0013] また、この発明は、後述する請求項8に記載する如く、前記屈曲角保持機構および前記屈曲角変化抑制機構が、摩擦力が調節自在な摩擦ブレーキからなるように構成した。
- [0014] また、この発明は、後述する請求項9に記載する如く、前記屈曲角保持機構および前記屈曲角変化抑制機構が、ダンパからなるように構成した。
- [0015] また、この発明は、後述する請求項10に記載する如く、上体と、上端が前記上体に連結される一方、下端に足部が連結される脚部とを備え、前記脚部を駆動して移動すると共に、前記足部が、前記脚部に連結される足部本体と、前記足部本体の前端

に設けられ、前記足部本体に対して屈曲自在な爪先部とからなる脚式移動ロボットの制御装置において、前記爪先部の屈曲角を前記爪先部の可動範囲で保持自在な屈曲角保持機構と、前記屈曲角保持機構を動作させて前記爪先部の屈曲角の保持とその解除を制御する屈曲角制御手段とを備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記脚部の離床時あるいはそれよりも前の第1のタイミングで前記爪先部の屈曲角を保持した後、前記脚部の離床後の第2のタイミングで前記爪先部の屈曲角の保持を解除して前記爪先部を初期位置に復帰させるように構成した。

[0016] また、この発明は、後述する請求項11に記載する如く、前記脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記生成された歩容に基づいて前記第1および第2のタイミングを決定するように構成した。

[0017] また、この発明は、後述する請求項12に記載する如く、前記爪先部の屈曲角を検出する屈曲角検出手段と、前記脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段とを備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記検出された屈曲角に基づいて前記第1のタイミングを決定する一方、前記生成された歩容に基づいて前記第2のタイミングを決定するように構成した。

[0018] また、この発明は、後述する請求項13に記載する如く、前記屈曲角制御手段は、さらに、前記脚部の離床中であって前記第2のタイミングよりも後の第3のタイミングで前記爪先部の屈曲角を保持した後、前記脚部の着床後であって次の前記第1のタイミングよりも前の第4のタイミングで前記爪先部の屈曲角の保持を解除するように構成した。

[0019] また、この発明は、後述する請求項14に記載する如く、前記脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記生成された歩容に基づいて前記第1から第4のタイミングを決定するように構成した。

[0020] また、この発明は、後述する請求項15に記載する如く、前記爪先部の屈曲角を検出する屈曲角検出手段と、前記脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段とを備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記検出された屈曲角に基づいて前記第1および第3のタイミングを決定する一方、前記生成された歩容に基づいて前記第2および第4のタイミングを決定するように構成した。

[0021] また、この発明は、後述する請求項16に記載する如く、前記爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記第2のタイミングで前記爪先部の屈曲角の保持を解除すると同時に、前記屈曲角変化抑制機構を動作させて前記屈曲角を漸減させ、前記爪先部を徐々に初期位置に復帰させるように構成した。

[0022] また、この発明は、後述する請求項17に記載する如く、前記爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記第4のタイミングから次の前記第1のタイミングまでの間、前記屈曲角変化抑制機構を動作させて前記足部を通じて作用する床反力を制御するように構成した。

[0023] また、この発明は、後述する請求項18に記載する如く、前記爪先部の屈曲角変化を、その屈曲角速度に対して設定された所定の抵抗特性に従って抑制する屈曲角変化抑制機構を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記第4のタイミングから次の前記第1のタイミングまでの間、前記足部の位置姿勢を操作して前記屈曲角速度を調節し、よって前記屈曲角変化抑制機構が発生する抵抗の大きさを変化させて前記足部を通じて作用する床反力を制御するように構成した。

[0024] また、この発明は、後述する請求項19に記載する如く、前記爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構と、前記爪先部の屈曲角を検出する屈曲角検出手段と、少なくとも前記検出された屈曲角に基づいて前記脚部が接地する床の形状を推定する床形状推定手段とを備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記第4のタイミングから次の前記第1のタイミングまでの間、少なくとも前記推定された床形状に基づいて前記屈曲角変化抑制機構を動作させ、よって前記足部を通じて作用する床反力を制御するように構成した。

### 発明の効果

[0025] 請求項1に係る脚式移動ロボットにあっては、足部が、脚部に連結される足部本体と、足部本体の前端に設けられ、足部本体に対して屈曲自在な爪先部とからなると共に、爪先部の屈曲角をその可動範囲で保持自在な屈曲角保持機構を備えるように構成したので、脚部の離床後も離床時の屈曲角を保持し続けることができ、よって離床直後に爪先部が床面に接触して姿勢が不安定になるのを防止することができる。

また、爪先立ちしているときも爪先部の屈曲角を保持する(爪先部をロックする)ことができるため、爪先立ち期間の安定性を向上させることができる。

[0026] また、請求項2に係る脚式移動ロボットにあつては、爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構を備えるように構成したので、上記した効果に加え、爪先部を初期位置に復帰させたときにオーバーシュートや振動が生じるのを防止することができる。

[0027] また、請求項3に係る脚式移動ロボットにあつては、爪先部が、足部本体に連続すると共に、撓みつつ屈曲する弾性材からなるように構成したので、上記した効果に加え、足部の構造を簡素化することができる。

[0028] また、請求項4に係る脚式移動ロボットにあつては、爪先部が、ピッチ軸回りに回転自在な回転軸を介して足部本体の前端に連結されるように構成したので、上記した効果に加え、爪先立ち期間の接地面積を爪先部の屈曲角の多寡に関わらず一定に保つことができる。

[0029] また、請求項5に係る脚式移動ロボットにあつては、爪先部を初期位置に復帰させる方向に付勢する付勢手段を備えるように構成したので、上記した効果に加え、爪先部の初期位置への復帰を迅速に行うことができる。

[0030] また、請求項6に係る脚式移動ロボットにあつては、屈曲角保持機構が、摩擦ブレーキからなるように構成したので、上記したのと同様の効果を得ることができる。

[0031] また、請求項7に係る脚式移動ロボットにあつては、屈曲角変化抑制機構が、ダンパからなるように構成したので、上記したのと同様の効果を得ることができる。

[0032] また、請求項8に係る脚式移動ロボットにあつては、屈曲角保持機構および屈曲角変化抑制機構が、摩擦力が調節自在な摩擦ブレーキからなるように構成したので、上記した効果に加え、足部の構造をより簡素化することができる。

[0033] また、請求項9に係る脚式移動ロボットにあつては、屈曲角保持機構および屈曲角変化抑制機構が、ダンパからなるように構成したので、上記した効果に加え、足部の構造をより簡素化することができる。

[0034] また、請求項10に係る脚式移動ロボットの制御装置にあつては、爪先部の屈曲角をその可動範囲で保持自在な屈曲角保持機構と、屈曲角保持機構を動作させて爪

先部の屈曲角の保持とその解除を制御する屈曲角制御手段を備えると共に、屈曲角制御手段は、脚部の離床時あるいはそれよりも前の第1のタイミングで爪先部の屈曲角を保持した後、脚部が離床した後の第2のタイミングでその保持を解除して爪先部を初期位置に復帰させるように構成したので、脚部の離床後も離床時の屈曲角を保持し続けることができ、よって離床直後に爪先部が床面に接触して姿勢が不安定になるのを防止することができる。また、前記第1のタイミングを離床時よりも前のタイミングに設定することで、爪先立ちしているときも爪先部の屈曲角を保持する(爪先部をロックする)ことができるため、爪先立ち期間の安定性を向上させることができる。

[0035] また、請求項11に係る脚式移動ロボットの制御装置にあつては、脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段を備えると共に、屈曲角制御手段は、生成された歩容に基づいて第1および第2のタイミングを決定するように構成したので、上記した効果に加え、爪先部の屈曲角の保持およびその解除を適切なタイミングで実行することができる。

[0036] また、請求項12に係る脚式移動ロボットの制御装置にあつては、爪先部の屈曲角を検出する屈曲角検出手段と、脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段とを備えると共に、屈曲角制御手段は、検出された屈曲角に基づいて第1のタイミングを決定する一方、生成された歩容に基づいて第2のタイミングを決定するように構成したので、上記した効果に加え、爪先部の屈曲角の保持およびその解除をより適切なタイミングで実行することができる。

[0037] また、請求項13に係る脚式移動ロボットの制御装置にあつては、屈曲角制御手段は、さらに、脚部の離床中であつて第2のタイミングよりも後の第3のタイミングで爪先部の屈曲角を保持した後、脚部の着床後であつて次の第1のタイミングよりも前の第4のタイミングでその保持を解除するように構成したので、上記した効果に加え、脚部の着床時に十分な接地面積を確保することができる。

[0038] また、請求項14に係る脚式移動ロボットの制御装置にあつては、脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段を備えると共に、屈曲角制御手段は、生成された歩容に基づいて第1から第4のタイミングを決定するように構成したので、上記した効果に加え、爪先部の屈曲角の保持およびその解除を適切なタイミングで実行することが



できる。

- [0039] また、請求項15に係る脚式移動ロボットの制御装置にあつては、爪先部の屈曲角を検出する屈曲角検出手段と、脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段とを備えると共に、屈曲角制御手段は、検出された屈曲角に基づいて第1および第3のタイミングを決定する一方、生成された歩容に基づいて前記第2および第4のタイミングを決定するように構成したので、上記した効果に加え、爪先部の屈曲角の保持およびその解除をより適切なタイミングで実行することができる。
- [0040] また、請求項16に係る脚式移動ロボットの制御装置にあつては、爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構を備えると共に、屈曲角制御手段は、第2のタイミングで爪先部の屈曲角の保持を解除すると同時に、屈曲角変化抑制機構を動作させて屈曲角を漸減させ、爪先部を徐々に初期位置に復帰させるように構成したので、上記した効果に加え、爪先部を初期位置に復帰させたときにオーバーシュートや振動が生じるのを防止することができる。
- [0041] また、請求項17に係る脚式移動ロボットの制御装置にあつては、爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構を備えると共に、屈曲角制御手段は、第4のタイミングから次の第1のタイミングまでの間、屈曲角変化抑制機構を動作させて足部を通じて作用する床反力を制御するように構成したので、上記した効果に加え、爪先立ち期間の安定性をより向上させることができる。
- [0042] また、請求項18に係る脚式移動ロボットの制御装置にあつては、爪先部の屈曲角変化を、その屈曲角速度に対して設定された所定の抵抗特性に従って抑制する屈曲角変化抑制機構を備えると共に、屈曲角制御手段は、第4のタイミングから次の第1のタイミングまでの間、足部の位置姿勢を操作して屈曲角速度を調節し、よって屈曲角変化抑制機構が発生する抵抗の大きさを変化させて足部を通じて作用する床反力を制御するように構成したので、上記した効果に加え、爪先立ち期間の安定性をより向上させることができる。
- [0043] また、請求項19に係る脚式移動ロボットの制御装置にあつては、爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構と、爪先部の屈曲角を検出する屈曲角検出手段と、少なくとも検出された屈曲角に基づいて脚部が接地する床の形状を推定する

床形状推定手段とを備えると共に、屈曲角制御手段は、第4のタイミングから次の第1のタイミングまでの間、少なくとも推定された床形状に基づいて屈曲角変化抑制機構を動作させ、よって足部を通じて作用する床反力を制御するように構成したので、上記した効果に加え、爪先立ち期間の安定性をより一層向上させることができる。

#### 図面の簡単な説明

- [0044] [図1]この発明の第1実施例に係る脚式移動ロボットである。
- [図2]図1に示す脚式移動ロボットの足部の拡大断面図である。
- [図3]同様に、脚式移動ロボットの足部を示す拡大断面図である。
- [図4]同様に、脚式移動ロボットの足部を示す拡大断面図である。
- [図5]同様に、脚式移動ロボットの足部を示す拡大断面図である。
- [図6]図1に示す脚式移動ロボットの制御ユニットの詳細を示すブロック図である。
- [図7]図1に示す脚式移動ロボットの制御装置の構成および動作を機能的に示すブロック図である。
- [図8]図1に示す脚式移動ロボットの制御装置の動作を示すフロー・チャートである。
- [図9]図7の複合コンプライアンス動作決定部の演算処理を示すブロック図である。
- [図10]図9の補償全床反力モーメント分配器の演算処理を示すブロック図である。
- [図11]図9の両脚補償角決定部の演算処理を示すブロック図である。
- [図12]図9の足部補償角決定部の演算処理を示すブロック図である。
- [図13]図2のダンパの絞り量制御の処理を示すブロック図である。
- [図14]図2のダンパの制御モードなどの遷移を示すタイム・チャートである。
- [図15]同様に、ダンパの制御モードなどの遷移を示すタイム・チャートである。
- [図16]この発明の第2実施例に係る脚式移動ロボットの足部を示す拡大断面図である。
- [図17]同様に、第2実施例に係る脚式移動ロボットの足部を示す拡大断面図である。
- [図18]この発明の第3実施例に係る脚式移動ロボットの足部を示す模式図である。
- [図19]同様に、第3実施例に係る脚式移動ロボットの足部を示す模式図である。
- [図20]図18の摩擦ブレーキの油圧制御の処理を示すブロック図である。
- [図21]図18の摩擦ブレーキの制御モードなどの遷移を示すタイム・チャートである。

[図22]この発明の第4実施例に係る脚式移動ロボットの足部を示す模式図である。

[図23]同様に、第4実施例に係る脚式移動ロボットの足部を示す模式図である。

[図24]図22の摩擦ブレーキの油圧制御の処理を示すブロック図である。

[図25]図22の摩擦ブレーキの制御モードなどの遷移を示すタイム・チャートである。

[図26]この発明の第5実施例に係る脚式移動ロボットの足部を示す拡大断面図である。

[図27]同様に、第5実施例に係る脚式移動ロボットの足部を示す拡大断面図である。

[図28]同様に、第5実施例に係る脚式移動ロボットの足部を示す拡大断面図である。

[図29]同様に、第5実施例に係る脚式移動ロボットの足部を示す拡大断面図である。

[図30]この発明の第6実施例に係る脚式移動ロボットの制御モードなどの遷移を示すタイム・チャートである。

[図31]第6実施例に係る脚式移動ロボットの制御装置の中、足部補償角決定部の演算処理を示すブロック図である。

[図32]第6実施例に係る摩擦ブレーキの油圧制御の処理を示すブロック図である。

[図33]この発明の第7実施例に係る脚式移動ロボットの制御モードなどの遷移を示すタイム・チャートである。

[図34]第7実施例に係るダンパの絞り量制御の処理を示すブロック図である。

[図35]この発明の第8実施例に係る脚式移動ロボットの制御モードなどの遷移を示すタイム・チャートである。

[図36]第8実施例に係る脚式移動ロボットの制御装置の中、足部補償角決定部の演算処理を示すブロック図である。

[図37]この発明の第9実施例に係る脚式移動ロボットの制御装置の中、足部補償角決定部の演算処理を示すブロック図である。

### 発明を実施するための最良の形態

[0045] 以下、添付図面に即してこの発明に係る脚式移動ロボットおよびその制御装置を実施するための最良の形態について説明する。

#### 実施例 1

[0046] 図1は、この実施例に係る脚式移動ロボットを示す概略図である。

- [0047] 図示の如く、脚式移動ロボット1(以下「ロボット」という)は、左右の脚部(脚部リンク)2R, 2L(前進方向右側をR、左側をLとする。以下同じ)を備える2足歩行ロボットである。左右それぞれの脚部2R(L)には、6個の回転軸(自由度)が設けられる。6個の回転軸は上から順に、股(腰部)の脚部回旋用(Z軸回り)の回転軸10R, 10L、股のロール軸回り(X軸回り)の回転軸12R, 12L、股のピッチ軸回り(Y軸回り)の回転軸14R, 14L、膝部のピッチ軸回りの回転軸16R, 16L、足首のピッチ軸回りの回転軸18R, 18L、同ロール軸回りの回転軸20R, 20Lから構成される。
- [0048] 脚部2R(L)の下端には足部(足平)22R, 22Lが連結される。また、脚部2R(L)の上端には上体24が連結される。上体24の内部には、マイクロコンピュータからなる制御ユニット26などが格納される。上記において股関節(あるいは腰関節)は回転軸10R(L), 12R(L), 14R(L)から、膝関節は回転軸16R(L)から、足首関節は回転軸18R(L), 20R(L)から構成される。また股関節と膝関節とは大腿リンク28R, 28L、膝関節と足首関節とは下腿リンク30R, 30Lで連結される。
- [0049] このように、ロボット1の脚部2R(L)には $6 \times 2 = 12$ 個の回転軸が与えられる。そして、各回転軸を電動モータ(図示せず)で適宜な角度に駆動することにより、脚部全体に所望の動きを与えることができ、よってロボット1を任意に歩行させることができる。尚、ロボット1は、上体24に腕部や頭部を備えるが、それらは本願の特徴と直接の関係性を有しないため、図示および説明を省略する。
- [0050] 足首関節の下方には公知の6軸力センサ34R, 34Lが取着され、力の3方向成分 $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ とモーメントの3方向成分 $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ とを測定し、足部22R(L)の接地の有無および足部22R(L)を通じてロボット1に作用する床反力(接地荷重)などを検出する。また、上体24には傾斜センサ36が設置され、Z軸(鉛直方向(重力方向))に対する傾きとその角速度を検出する。また、各回転軸を駆動する電動モータには、その回転量を検出するロータリエンコーダが隣接して配置される。
- [0051] さらに、足部22R(L)の接地端と6軸力センサ34R(L)の間には、バネ機構体38R, 38Lが配置されると共に、足底には弾性体からなる(具体的にはゴム製の)ソール40R, 40Lが貼られてコンプライアンス機構42R, 42Lを構成する。
- [0052] 図2から図5は、足部22の拡大断面図である。尚、左右の足部22R(L)は左右対称

であるため、図2以降の説明ではR, Lを付すのを省略する。

- [0053] 図2に示すように、ソール40は上下に重ねて配置された2枚のゴム材(床に接するソールを符号40aで示す、その上部に配置されたソールを符号40bで示す)からなり、その上部には足部プレート46が配置される。足部プレート46は、弾性変形自在な金属材料から形成される。即ち、足部22の足底は、弾性変形自在に構成される。
- [0054] 足部プレート46の上部には、前記したバネ機構体38が配置される。バネ機構体38は、高剛性の金属材料から形成されたバネ機構体フレーム381と、バネ機構体フレーム381によって規定される空間内に収容された複数個のゴムブッシュ(弾性体)382と、ゴムブッシュ382の上面に取り付けられたバネ機構体プレート383とからなる。
- [0055] バネ機構体プレート383は、バネ機構体フレーム381と同様に高剛性の金属材料から形成される。また、バネ機構体プレート383の上部には6軸力センサ34が取り付けられると共に、6軸力センサ34の上部には足首関節18, 20を介して脚部2の下腿リンク30が連結される。
- [0056] ロボット1が床反力を受けると、コンプライアンス機構42においてバネ機構体38とソール40a, 40bが撓み、足部22の位置姿勢が変化する。この構造は、着床時の衝撃を緩和するためだけでなく、制御性を高めるためにも重要なものである。尚、その詳細は本出願人が先に提案した特開平5-305584号に記載されているので、ここでの説明は省略する。
- [0057] また、足部22は、ダンパ50を備える。ダンパ50は、流体(例えばオイル)が封入されたシリンダ50aと、シリンダ50aの内部に摺動自在に配置されたピストン50bと、ピストン50bを挟んで対峙するシリンダ50a内の空間同士を連通する連通路50cと、連通路50cの途中に設けられたオリフィス50dと、オリフィス50dの開口面積を零および所定値(零以外)のいずれかに調節する(換言すれば、オリフィス50dを閉鎖あるいは開口させる)電磁ソレノイド50eと、ピストン50bに接続されたピストンロッド50fとから構成される。即ち、ダンパ50は、オリフィス50dを通過する流体の流動抵抗を利用するものである。尚、図2は、オリフィス50dの開口面積が所定値に調節された状態を示す。また、電磁ソレノイド50eは、通電されているときにオリフィス50dの開口面積を所定値に調節し、非通電のときに零に調節する。

- [0058] ダンパ50の一端(シリンダボトム)は、バネ機構体フレーム381の前端(進行方向における前端)にピッチ軸回りに回動自在に接続される。一方、ダンパ50の他端(ロッドヘッド)は、足部プレート46の前端にピッチ軸回りに回動自在に接続される。
- [0059] ここで、オリフィス50dの開口面積が所定値に調節されているとき(即ち、シリンダ50aの内部をピストン50bが移動自在であってダンパ50の伸縮が可能であるとき)に足部22のかかとが床面から離床すると、図3に示すように、弾性変形自在な足部22の中、高剛性部材からなるバネ機構体フレーム381が取り付けられた部位よりも前の部位が撓みつつ屈曲する。以下、足部22において、この屈曲する部位を「爪先部」といい、符号22tで示す。また、足部22において爪先部22t以外の残余の部位を「足部本体」といい、符号22mで示す。
- [0060] このように、足部22は、バネ機構体38などを介して脚部2に連結された足部本体22mと、その前端に設けられた爪先部22tとからなる。また、爪先部22tは、足部本体22mに連続する弾性体からなり、足部本体22mに対して屈曲自在とされる。
- [0061] 一方、図4に示すように、爪先部22tが屈曲しているときにオリフィス50dの開口面積を零に調節すると、ピストン50bの移動(ダンパ50の伸縮)が不可となってそのときの爪先部22tの屈曲角(図4に $\theta_t$ で示す)が保持される。また、ロボット1が爪先立ちの状態にないときにオリフィス50dの開口面積を所定値に戻してピストン50bの移動を可能とすると、ソール40a、40bおよび足部プレート46の復元力によって爪先部22tが初期位置(屈曲角が零度の位置)に復帰する。さらに、図5に示すように、爪先部22tが屈曲していないときにオリフィス50dの開口面積を零に調節することで、爪先部22tを初期位置に保持することも可能である。
- [0062] 即ち、ダンパ50の一端を足部本体22m側に接続し、他端を爪先部22t側に接続すると共に、ダンパ50の絞り量を調節してその伸縮を禁止する、具体的には、ダンパ50に設けられた電磁ソレノイド50eを駆動してオリフィス50dの開口面積を零に調節することで、爪先部22tの屈曲角をそのときの角度のまま保持するようにした。換言すれば、足部本体22mと爪先部22tの間にダンパ50を設け、そのオリフィス50dの開口面積を零から所定値の間で調整自在に構成することで、爪先部22tの屈曲角を、爪先部22tの可動範囲の全域で保持自在とした。別言すれば、爪先部22tの屈曲角

を、爪先部22tの可動範囲の中の任意の角度(さらに別言すれば、可動範囲において連続する全ての角度)に保持できるようにした。

[0063] また、ダンパ50は、前述したようにオリフィス50dを通過する流体の流動抵抗を利用するものである。従って、爪先部22tの屈曲角が保持されていないときも、屈曲角の増減の抵抗となり、その変化が抑制される。

[0064] 即ち、ダンパ50は、爪先部22tの屈曲角をその可動範囲で保持自在な機構(以下「屈曲角保持機構」という)として機能すると同時に、屈曲角変化を抑制する機構(以下「屈曲角変化抑制機構」という)としても機能する。

[0065] このように、足部22は、脚部2に連結される足部本体22mと、足部本体22mの前端に設けられ、足部本体22に対して屈曲自在な爪先部22tとからなると共に、爪先部22tの屈曲角をその可動範囲で保持自在な屈曲角保持機構ならびに屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構として、ダンパ50を備えるようにした。

[0066] 図6は制御ユニット26の詳細を示すブロック図である。6軸力センサ34R(L)や傾斜センサ36などの出力は、制御ユニット26においてA/D変換器60でデジタル値に変換された後、バス62を介してRAM64に入力される。また、各電動モータに隣接して配置されるエンコーダの出力は、カウンタ66を介してRAM64に入力される。

[0067] 制御ユニット26の内部にはCPUからなる第1、第2の演算装置70、72が設けられており、第1の演算装置70は後述の如く、ROM74に格納されている歩容に基づいて各回転軸や爪先部の変位指令を算出し、RAM64に送出する。また、第2の演算装置72はRAM64からその指令と検出された実測値とを読み出し、各回転軸の駆動や爪先部の屈曲角の調節に必要な制御値を算出してD/A変換器76とサーボアンプを介して各関節を駆動する電動モータに出力する。さらに、制御ユニット26には、有線あるいは無線でジョイスティック80が接続され、ロボット1に対して直進や旋回などの歩容に対する要求を外部から入力できるように構成される。

[0068] 次いで、この実施例に係る脚式移動ロボットの制御装置について詳説する。この実施例に係る制御装置は、概説すると、本出願人が先に提案した特開平10-277969号公報に記載される技術(足部の姿勢傾きを操作してロボットに作用する床反力を適切に制御する技術。以下「複合コンプライアンス制御」という)に、上記した屈曲自在

な爪先部に関連する制御を追加したものである。

- [0069] 尚、以下の説明で使用する用語の意味は、上記特開平10-277969号公報(およびその中で引用した文献)での定義に従うものとする。また、以下の説明において、本願の特徴部以外の構成についてはその動作の概要のみを説明するが、具体的には、先に提案した上記文献に詳説される条件や数式などに従って行われる。
- [0070] 図7は、この実施例に係る脚式移動ロボットの制御装置の構成および動作を機能的に示すブロック図である。
- [0071] 図7に示す如く、制御装置は歩容生成器100を備え、歩容生成器100は目標歩容を生成して出力する。目標歩容は、目標運動パターンと目標床反力パターン、より具体的には目標上体位置姿勢軌道、目標足部位置姿勢軌道、目標全床反力中心点(目標ZMP)軌道および目標全床反力軌道(あるいはパターン)からなる。
- [0072] 歩容生成器100が出力する目標全床反力は、目標運動パターンに対して動力学的に平衡する全床反力である。従って、目標全床反力中心点は、目標ZMPに一致する。
- [0073] 目標床反力分配器102は、上記した目標全床反力中心点(目標ZMP)と目標足部位置姿勢を主な入力とし、目標各足部床反力中心点を決定して出力する。実際には、歩容生成器100から歩容のパラメータ(例えば、両脚支持期の時間や遊脚足部の目標着地位置など)や、歩容の時期・時刻(例えば、現在時刻が両脚支持期の初めから0.1[sec]であるなど)などの情報も必要に応じて取り込む。
- [0074] また、目標床反力分配器102は、目標各足部床反力も決定して出力する。目標各足部床反力は、コンプライアンス機構42の撓み補償のために必要である。
- [0075] 姿勢安定化制御演算部104は、センサ情報に基づいてロボット1の状態を推定し、補償全床反力を算出する。
- [0076] また、実各足部床反力検出器108は、6軸力センサ34の出力に従って実各足部床反力(その合力が実全床反力)を検出する。さらに、関節のエンコーダによって検出される実変位(および／または変位指令)に基づき、上体24に固定された座標系に対する各足部22R(L)の相対位置姿勢を算出し、それによって6軸力センサ34の検出値を座標変換し、上体に固定された座標系で表現された実各足部床反力を算出し



た後、支持脚座標系に変換する。

- [0077] ロボット幾何学モデル(逆キネマティクス演算部)110は、上体位置姿勢と足部位置姿勢を入力されると、それらを満足する各関節変位を算出する。ここでは逆キネマティクスの解の式を直接的に求めておき、式に上体位置姿勢と足部位置姿勢を代入するだけで各関節変位を得るようにした。即ち、ロボット幾何学モデル110は、目標上体位置姿勢と後述する複合コンプライアンス動作決定部で修正された修正目標足部位置姿勢軌道(機構変形補償付き修正目標足部位置姿勢軌道)を入力し、それらから12個の回転軸(10R(L)など)の変位指令(値)を算出する。
- [0078] 変位コントローラ112(前記した第2の演算装置72に同じ)は、ロボット幾何学モデル(逆キネマティクス演算部)110で算出された関節変位指令(値)を目標値としてロボット1の12個の回転軸の変位を追従制御する。
- [0079] また、複合コンプライアンス動作決定部114は、目標全床反力と補償全床反力の合力に実全床反力を一致させるように、目標足部位置姿勢軌道を修正する。尚、上記した「全床反力」や「足部床反力」は、具体的には作用点とそこにかかる力と力のモーメントによって表現され、実際の演算には、下記の如くその力成分やモーメント成分が使用される。
- [0080] 上記を前提とし、図8フロー・チャート(構造化フロー・チャート)を参照してこの装置の動作を説明する。尚、図の左端に該当する処理を行う図7ブロック図の構成要素を示す。
- [0081] 先ずS10において装置を初期化し、S12を経てS14に進み、タイマ割り込みを待機する。タイマ割り込みは50[msec]ごとになされる。即ち、この装置の制御周期は50[msec]である。
- [0082] 続いてS16に進んで歩容の切り変わり目、具体的には支持脚の切り変わり目か否か判断し、否定されるときはS22に進むと共に、肯定されるときはS18に進んでタイマtをイニシャライズし、S20に進んで目標歩容パラメータを設定する。前記の如く、歩容パラメータは、運動パラメータと床反力パラメータ(ZMP軌道パラメータ)から構成される。
- [0083] 続いてS22に進み、目標歩容の瞬時値を決定する。ここで『瞬時値』は制御周期ご

との値を意味し、目標歩容瞬時値は、目標上体位置姿勢、目標各足部位置姿勢、および目標ZMP位置から構成される。尚、ここで『姿勢』とは、X, Y, Z空間における『向き』を意味する。

[0084] 続いてS24に進んで目標各足部床反力中心点を求め、さらにS26に進んで目標各足部床反力を求める。

[0085] 続いてS28に進み、前記した傾斜センサ36などの出力から上体24の傾斜などロボット1の状態を検出する。

[0086] 続いてS30に進み、ロボット1の状態などから姿勢を安定化するための(目標全床反力中心点(目標ZMP)回りの)補償全床反力モーメント $M_{dmdx}$ ,  $M_{dmdy}$ を求める。

[0087] 続いてS32に進んで実各足部床反力を検出する。これは前記の如く、6軸力センサ34の出力から検出する。

[0088] 続いてS34に進み、両脚補償角  $\theta_{dbv}$  および各足部補償角  $\theta_{nx}(y)$  を決定する。これは、前記した複合コンプライアンス動作決定部114が行う作業である。

[0089] 尚、この明細書で「n」とは脚部の通し番号(n:1または2)であり、ある歩容の期間に床面に接触したままの脚部を「1」、もう一方を「2」と表現する。

[0090] 図9は複合コンプライアンス動作決定部114の演算処理を示すブロック図であり、同図を参照してその処理を説明する。

[0091] 補償全床反力モーメント分配器114aは、補償全床反力モーメント $M_{dmd}$ を、両脚補償モーメント $M_{dmddb}$ 、各足部補償モーメント $M_{dmd1x}$ ,  $M_{dmd1y}$ ,  $M_{dmd2x}$ ,  $M_{dmd2y}$ に分配する。両脚補償モーメント $M_{dmddb}$ (そのV方向回りの成分を $M_{dmddbv}$ と記述する)は、両脚補償角(足部上下量)  $\theta_{dbv}$  を操作することによって目標全床反力中心点(目標ZMP)回りに各足部床反力の力成分が作るモーメントの目標値である。尚、上記で「V」とは、目標各足部床反力中心点を含み、かつ水平面と垂直な平面の法線ベクトルであり、その大きさは1とする。

[0092] 分配は、具体的には、図10に示すブロック図に従って行われる。図10において、 $W_{dbx}$ ,  $W_{dbx}$ ,  $W_{1x}$ ,  $W_{1y}$ ,  $W_{2x}$ ,  $W_{2y}$  および  $W_{dbint}$  は分配用重み変数である。 $V_x$  はベクトルVのX成分の値、 $V_y$  はベクトルVのY成分の値である。この中で、 $W_{dbi}$

ntは、両脚補償角を操作することによって発生した全床反力モーメントを、各足部補償角を操作することによって打ち消すためのものである。

[0093] 図9の説明に戻ると、次に、実各足部床反力と分配された補償全床反力モーメントなどから、両脚補償角決定部114bおよび第n足部X(Y)補償角決定部114c, 114d, 114e, 114fにおいて前述の補償角  $\theta_{dbv}$  および  $\theta_{nx(y)}$  を決定する。

[0094] 図11は、両脚補償角決定部114bの演算処理のブロック図であり、両脚補償角  $\theta_{dbv}$  は図示の如く演算される。

[0095] 図11を参照して説明すると、目標第1足部床反力中心点Q1に作用する実床反力の力成分F1actと目標第2足部床反力中心点Q2に作用する実床反力の力成分F2actに基づき、目標全床反力中心点Pの回りに発生させるモーメントMf1f2actを求める。

[0096] 次に、Mf1f2actのベクトルV方向成分Mf1f2actvを抽出する。次に、Mf1f2actvをローパスフィルタ114iに通し、Mf1f2actvfiltを得る。

[0097] 次に、両脚補償モーメントV方向成分Mdmddbvを補償フィルタ114jに通し、それを、Mf1f2actvfiltから減じ、偏差モーメントV方向成分Mdiffvを得る。

[0098] 尚、補償フィルタ114jは、両脚補償モーメントV方向成分Mdmddbvから実全床反力モーメントまでの伝達関数の周波数応答特性を改善するものである。

[0099] 次に、コンプライアンス機構42の変形による両脚補償モーメントV方向成分Mdmdbvへの影響を打ち消すための両脚機構変形補償角  $\theta_{ffdbv}$  を求める。これは、いわゆるフィードフォワード補償である。

[0100] 最後に、偏差モーメントV方向成分Mdiffvと制御ゲインKdbの積に両脚機構変形補償角  $\theta_{ffdbv}$  を加算して両脚補償角  $\theta_{dbv}$  を得る。

[0101] 次いで、第n足部補償角決定部について説明する。図12はその中の第1足部X補償角決定部114cの演算処理を示すブロック図であり、第1足部X補償角決定部114cは第1足部X補償角  $\theta_{1x}$  を図示の如く演算する。説明は省略するが、第1足部Y補償角  $\theta_{1y}$ 、第2足部X補償角  $\theta_{2x}$ 、第2足部Y補償角  $\theta_{2y}$  も同様に求める。ここでは第1足部X補償角  $\theta_{1x}$  を求めるアルゴリズムだけを説明する。

[0102] 実第1足部床反力モーメントX成分M1actxをローパスフィルタ114kに通してM1a

ctfiltxを得る。第1足部補償モーメントX成分Mdmd1xを補償フィルタ114mに通し、それを、M1actfiltxから減じ、偏差モーメントMdiff1xを得る。両脚補償角決定と同様、補償フィルタ114mは、Mdmd1xから実全床反力までの伝達関数の周波数応答特性を改善するものである。

[0103] 次に、両脚補償角決定と同様、コンプライアンス機構42の変形による第1足部補償モーメントX成分への影響を打ち消すための第1足部X機構変形補償角  $\theta_{ff1x}$ を求める。これは、いわゆるフィードフォワード補償である。

[0104] 最後に、偏差モーメントMdiff1xと制御ゲインK1xの積に第1足部X機構変形補償角  $\theta_{ff1x}$ を加算して第1足部X補償角  $\theta_{1x}$ を得る。

[0105] 図9の説明に戻ると、次に、修正目標足部位置姿勢算出部114gは、両脚補償角  $\theta_{dbv}$ 、第1足部X補償角  $\theta_{1x}$ 、第1足部Y補償角  $\theta_{1y}$ 、第2足部X補償角  $\theta_{2x}$ 、第2足部Y補償角  $\theta_{2y}$ に基づいて目標足部位置姿勢を修正し、修正目標足部位置姿勢を得る。

[0106] 機構変形量算出部114hは、目標各足部床反力によって発生が予想されるコンプライアンス機構42の変形量を求める。

[0107] 機構変形補償付き修正目標足部位置姿勢算出部114nは、算出された機構変形量を打ち消すように、修正目標足部位置姿勢をさらに修正し、機構変形補償付き修正目標足部位置姿勢を得る。

[0108] 上記を前提として図8フロー・チャートの説明に戻ると、前記の如く、S34において上記した補償角を決定する。

[0109] 次いでS36に進み、目標各足部床反力に基づいて機構変形補償量を算出し、S38に進んで目標足部位置姿勢を補償角  $\theta_{dbv}$ 、 $\theta_{nx}(y)$ に応じて修正し、さらにこれを機構変形補償量に応じて修正し、機構変形補償付き修正目標足部位置姿勢を得る。

[0110] 次いでS40に進み、上体位置姿勢と機構変形補償入り修正足部位置姿勢から関節変位指令(値)を算出し、S42に進んで実関節変位を算出された関節変位指令(値)に追従させるようサーボ制御し、S44に進んで時刻を $\Delta t$ だけ更新し、S14に戻って上記の処理を繰り返す。

- [0111] 次いで、図13から図15を参照し、この実施例に係る脚式移動ロボットの制御装置の動作の中、爪先部22tの屈曲角の保持およびその解除動作について説明する。
- [0112] 図13は、ダンパ50の絞り量制御の処理を示すブロック図である。
- [0113] 図示の如く、制御装置はセレクトスイッチ118を備える。セレクトスイッチ118には、「CLOSE」および「OPEN」の2種からなるダンパ50の制御モードに対応したRd\_close (オリフィス50dの閉鎖指令。即ち、屈曲角の保持指令) およびRd\_open (オリフィス50dの開口指令。即ち、屈曲角保持の解除指令) の2つの信号が入力される。そして、そのうちのいずれかを後述する所定のタイミングで選択し、ダンパ絞り量指令Rd (具体的には、電磁ソレノイド50eへの通電指令値) としてダンパ50に出力する。
- [0114] 図14は、ロボット1が平地を移動するときのダンパ50の制御モードなどの遷移を示すタイム・チャートである。尚、図14において目標足部姿勢角とは、足部22が水平であるときに零、足部22の前端が後端よりも下方に位置するときに正值、足部22の前端が後端よりも上方に位置するときに負値を示す。従って、例えば脚部2が着床しており、かつ目標足部姿勢角が正值であるときは、ロボット1が爪先立ちしていることを示す。また、目標足部床反力並進力鉛直成分とは、目標とする床反力の並進成分の中、Z軸方向の力成分を意味する。
- [0115] 図14タイム・チャートについて概説すると、脚部2の離床時たる第1のタイミングt1から離床後の第2のタイミングt2までは「CLOSE」が選択され、第2のタイミングt2から脚部2が着床する前の第3のタイミングt3までは「OPEN」が選択される。また、第3のタイミングt3から脚部2が着床して爪先立ちが開始される第4のタイミングt4までは再度「CLOSE」が選択され、第4のタイミングt4から次の第1のタイミングt1までは「OPEN」が選択される。
- [0116] 即ち、脚部2の離床時たる第1のタイミングt1で爪先部22tの屈曲角を保持した後、脚部2が離床した後の第2のタイミングt2で屈曲角の保持を解除する。さらに、第2のタイミングt2よりも時間的に後で、かつ脚部2の着床前の第3のタイミングt3で爪先部22tの屈曲角を再度保持し、脚部2の着床後であって次の第1のタイミングt1よりも時間的に前の第4のタイミングt4でその保持を解除する。
- [0117] 以下具体的に説明すると、爪先立ちが開始される第4のタイミングt4から離床時た

る第1のタイミング $t_1$ までの間(即ち、爪先立ちの期間)、屈曲角の保持を解除して爪先部22tを屈曲自在とすることで、足部姿勢角の変化に応じて爪先部22tを屈曲させ、よって蹴り出しに必要な接地面積を確保する。

[0118] 次いで、離床する瞬間の屈曲角を、離床した後の第2のタイミング $t_2$ まで(具体的には、爪先部22tが床面から十分に離れるまで)保持し続ける。

[0119] そして、第2のタイミング $t_2$ で屈曲角の保持を解除することにより、爪先部22tを初期位置に復帰させる。このとき、ダンパ50の流動抵抗によって爪先部22tの屈曲角は漸減し、初期位置に徐々に復帰する。

[0120] さらに、離床中であって前記第2のタイミング $t_2$ よりも時間的に後の第3のタイミング $t_3$ (より詳しくは、爪先部22tが初期位置に復帰した後のタイミング)から爪先立ちが開始する第4のタイミング $t_4$ (換言すれば、足部22のべた接地終了時)まで爪先部22tの屈曲角を保持し、爪先部22tを初期位置にロックすることにより、着床時およびべた接地時の接地面積を最大限に確保する。

[0121] 尚、上記した第1のタイミング $t_1$ から第4のタイミング $t_4$ は、いずれも歩容生成器100が出力するロボット1の目標歩容に基づいて決定される。

[0122] 図15は、ロボット1が階段を上るときのダンパ50の制御モードなどの遷移を示すタイム・チャートである。

[0123] 一般に、階段を上るときは支持脚後期に爪先立ちの期間が長く発生する。上述したコンプライアンス制御は、足部の姿勢傾きを操作してロボットに作用する床反力を適切に制御する技術であることから、爪先部22tが屈曲自在な期間が長くなると制御性の低下を招くおそれがある。そこで、図15に示すように、階段を上るときは、爪先部22tの屈曲角を保持する第1のタイミング $t_1$ を、脚部2の離床時よりも時間的に前のタイミングに設定するようにした。

[0124] 具体的には、図示の如く、爪先立ち期間の後半は目標足部姿勢角を一定にすると共に、爪先部22tの屈曲角を保持するようにした。これにより、上述したコンプライアンス制御が爪先立ち期間の後半に有効に働くようになり、姿勢を安定化することができる。

[0125] このように、第1実施例に係るロボット1にあつては、爪先部22tの屈曲角をその可動

範囲で保持自在な屈曲角保持機構としてダンパ50を備えると共に、脚部2の離床時あるいはそれよりも時間的に前の第1のタイミングt1から脚部2が離床した後の第2のタイミングt2までの間、爪先部22tの屈曲角を保持するようにしたので、脚部2の離床後も離床時の屈曲角を保持し続けることができ、よって離床直後に爪先部22tが床面に接触してロボット1の姿勢が不安定になるのを防止することができる。さらに、屈曲角の保持を開始する第1のタイミングt1を離床時よりも前のタイミングに設定することで、爪先立ちしているときも爪先部22tの屈曲角を保持する(爪先部22tをロックする)ことができるため、爪先立ちしているときの安定性を向上させることができる。

[0126] さらに、脚部2離床中であって前記第2のタイミングt2よりも後の第3のタイミングt3から爪先立ちが開始する第4のタイミングt4まで、爪先部22tの屈曲角を保持して爪先部22tを初期位置にロックするようにしたので、着床時およびべた接地時の接地面積を最大限に確保することができる。

[0127] また、ダンパ50が爪先部22tの屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構としても機能することから、爪先部22tが初期位置に復帰する際にオーバーシュートや振動が発生するのを防止することができる。

[0128] また、爪先部22tが、足部本体22mに連続すると共に、撓みつつ屈曲する弾性材からなるようにしたので、足部22の構造を簡素化することができる。

## 実施例 2

[0129] 次いで、図16および図17を参照し、この発明の第2実施例に係る脚式移動ロボットおよびその制御装置について説明する。

[0130] 図16および図17は、第2実施例に係る脚式移動ロボットの足部を示す拡大断面図である。

[0131] 以下、第1実施例との相違点に焦点をおいて説明すると、第2実施例に係る足部22にあっては、図16および図17に示すように、足部本体222mと爪先部222tを分割し、ピッチ軸回りに回転自在な回転軸222aを介してそれらを連結するようにした。即ち、回転軸222aを回動させることにより、爪先部222tを足部本体222mに対して屈曲させるようにした。

[0132] また、回転軸222aを介して足部本体222mと爪先部222tを連結するようにしたの

で、第1実施例のように足部に弾性を与える必要がない。このため、足部本体222m側の足部プレート46mを、バネ機構体フレーム381と一体的に高剛性の金属材料から形成するようにした。同様に、爪先部222t側の足部プレート46tも、高剛性の金属材料から形成される。

[0133] 一方、足部が弾性を備えないことから、爪先部222tを初期位置に復帰させる方向に付勢する復元バネ222bを設け、爪先部222tの初期位置への復帰をアシストするようにした。復元バネ222bは、具体的には圧縮コイルバネであり、ピストンロッド50fのロッドヘッドに設けられたフランジ222cとシリンダ50aの間に介挿される。

[0134] 尚、残余の構成は第1実施例と同様であるので、説明を省略する。

[0135] このように、第2実施例にあっては、爪先部222tと足部本体222mを分割すると共に、回転軸222aを介してそれらを連結するようにしたので、第1実施例と同様の効果を得ることができる。また、回転軸222aを回動させることによって爪先部222tを屈曲させるようにしたことから、その屈曲角の多寡に関わらず爪先立ち期間の接地面積を一定に保つことができる。さらに、復元バネ222bを設けることで、爪先部222tの初期位置への復帰を迅速に行うことができる。

### 実施例 3

[0136] 次いで、図18から図21を参照し、この発明の第3実施例に係る脚式移動ロボットおよびその制御装置について説明する。

[0137] 図18および図19は、第3実施例に係る脚式移動ロボットの足部を示す模式図である。

[0138] 第1実施例との相違点に焦点をおいて説明すると、第3実施例に係る足部223にあっては、爪先部223tの屈曲角をその可動範囲で保持自在な屈曲角保持機構として摩擦ブレーキ60を備えると共に、屈曲角変化を抑制する屈曲角抑制機構としてダンパ500を備えるようにした。

[0139] 摩擦ブレーキ60は、爪先部223tの前端にピッチ軸回りに回動自在に取り付けられたシャフト60aと、足部本体223mの適宜位置にピッチ軸回りに回動自在に取り付けられた把持機構60bとからなる。シャフト60aは、把持機構60bの内部に移動自在に挿通される。把持機構60bは、図示しない油圧発生ユニットから油圧を供給されると、



シャフト60aを囲むように配置されたブレーキをシャフト60aに押圧し、よってシャフト60aを把持する。これにより、シャフト60aの移動が不可となって爪先部223tの屈曲角が保持される。

[0140] ダンパ500は、第1実施例および第2実施例で述べたダンパ50と同様に、流体の流動抵抗を利用したものであるが、以下の点で異なる。即ち、第3実施例に係る足部223にあっては、屈曲角保持機構として摩擦ブレーキ60を備えることから、ダンパ500にはかかる機能は要求されない。従って、ダンパ500は、前述したダンパ50に設けられていたオリフィスの開口面積を調節する電磁ソレノイドを備えない。

[0141] 次いで、第3実施例に係る脚式移動ロボットの制御装置の動作の中、爪先部223tの屈曲角の保持およびその解除動作について説明する。

[0142] 図20は、摩擦ブレーキ60の油圧制御の処理を示すブロック図である。

[0143] 図示の如く、第3実施例に係る制御装置は、セレクトスイッチ120を備える。セレクトスイッチ120には、「LOCK」および「FREE」の2種からなる摩擦ブレーキ60の制御モードに対応したP\_high(高圧指令。具体的には、屈曲角の保持指令)およびP\_zero(油圧供給停止指令。具体的には、屈曲角保持の解除指令)の2つの信号が入力される。そして、そのうちのいずれかを上述した所定のタイミングで選択し、油圧指令P\_bとして油圧発生ユニットに出力する。

[0144] 図21は、ロボット1が平地を移動するときの摩擦ブレーキ60の制御モードなどの遷移を示すタイム・チャートである。

[0145] 図21タイム・チャートに示すように、第3実施例に係る爪先部の屈曲角の保持およびその解除のタイミングは、従前の実施例のそれ(図14)と同じである。また、図示は省略するが、ロボット1が階段を上るときも従前の実施例(図15)と同様のタイミングで爪先部の屈曲角の保持およびその解除を行えば良い。

[0146] このように、第3実施例にあっては、爪先部223tの屈曲角をその可動範囲で保持自在な屈曲角保持機構として摩擦ブレーキ60を備えると共に、屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構としてダンパ500を備えるようにしたので、従前の実施例と同様の効果を得ることができる。

[0147] 尚、残余の構成は従前の実施例と同様であるため、説明を省略する。また、上記の

説明は、第2実施例で述べた足部222において、ダンパ50に代えて摩擦ブレーキ60とダンパ500を設けた場合にも妥当するものである。

#### 実施例 4

- [0148] 次いで、図22から図25を参照し、この発明の第4実施例に係る脚式移動ロボットおよびその制御装置について説明する。
- [0149] 図22および図23は、第4実施例に係る脚式移動ロボットの足部を示す模式図である。
- [0150] 図22および図23に示すように、第4実施例に係る足部224にあっては、第1実施例の足部22に設けられたダンパ50に代え、摩擦ブレーキ60を備える。
- [0151] 従前の実施例との相違点について説明すると、第4実施例にあっては、上記した摩擦ブレーキ60の摩擦力を調節自在とし、よって摩擦ブレーキ60を、爪先部224tの屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構としても機能させるようにした。
- [0152] 即ち、摩擦ブレーキ60の供給油圧を上記P\_highとP\_zeroの間の値に設定することで、シャフト60aの移動を抑制し、よって爪先部224tの屈曲角の変化を抑制するようにした。
- [0153] 以下、第4実施例に係る脚式移動ロボットの制御装置の動作の中、爪先部224tの屈曲角の保持およびその解除動作について説明する。
- [0154] 図24は、摩擦ブレーキ60の油圧制御の処理を示すブロック図である。
- [0155] 図示の如く、第4実施例に係る制御装置は、セレクトスイッチ122を備える。セレクトスイッチ122には、「LOCK」、「SEMIFREE」および「FREE」の3種からなる摩擦ブレーキ60の制御モードに対応したP\_high(高圧指令。具体的には、屈曲角の保持指令)、P\_low(低圧指令。具体的には、屈曲角変化の抑制指令)およびP\_zero(油圧供給停止指令。具体的には、屈曲角保持の解除指令)の3つの信号が入力される。そして、そのうちのいずれかを上述した所定のタイミングで選択し、油圧指令P\_bとして油圧発生ユニットに出力する。
- [0156] 図25は、第4実施例に係る摩擦ブレーキ60の制御モードなどの遷移を示すタイム・チャートである。
- [0157] 図25タイム・チャートに示すように、第4実施例にあっては、第2のタイミングt2から

第3のタイミング $t_3$ までの間、摩擦ブレーキ60の制御モードとして「SEMIFREE」を選択し、爪先部224tの屈曲角の変化を抑制するようにした。即ち、第2のタイミング $t_2$ で爪先部224tの屈曲角の保持を解除すると同時に、摩擦ブレーキ60の摩擦力を利用して屈曲角を漸減させ、初期位置に徐々に復帰させるようにした。これにより、爪先部224tが初期位置に復帰する際のオーバーシュートや振動の発生を防止することができる。

[0158] 尚、図25はロボット1が平地を移動するときのタイム・チャートであり、階段を上るときは、従前の実施例と同様に第1のタイミング $t_1$ を脚部の離床時よりも前のタイミングに設定すれば良い。また、残余の構成は従前の実施例と同様であるので、説明を省略する。

[0159] また、上記の説明は、第2実施例で述べた足部222において、ダンパ50に代えて摩擦ブレーキ60を設けた場合にも妥当する。

#### 実施例 5

[0160] 次いで、図26から図29を参照し、この発明の第5実施例に係る脚式移動ロボットおよびその制御装置について説明する。

[0161] 図26および図27は、第5実施例に係る脚式移動ロボットの足部を示す拡大断面図である。

[0162] 図26および図27に示すように、第5実施例にあつては、第1実施例に係る足部22に設けられたダンパ50の内部に、ピストンロッド50fの変位(ストローク量)を検出するストロークセンサ22s(リニアエンコーダやポテンシオメータなど)を設けるようにした。尚、ストロークセンサ22sの検出値は、前記した制御ユニット26のRAM64に入力される。

[0163] ピストンロッド50fのストローク量は、図示の如く、爪先部22tの屈曲角に応じて変化する。即ち、ピストンロッド50fのストローク量を検出することは、爪先部22tの屈曲角を検出することに相当する。以下、ストロークセンサ22sの検出値を、爪先部22tの屈曲角の検出値として扱う。

[0164] 次いで、第5実施例に係る脚式移動ロボットの制御装置について説明する。

[0165] 第5実施例にあつては、前述した第1のタイミング $t_1$ と第3のタイミング $t_3$ を、爪先部

22tの屈曲角の検出値に基づいて決定するようにした。

[0166] 具体的には、第4のタイミングt4で爪先部22tの屈曲角の保持を解除した後、屈曲角の検出値が所定値に達したときを第1のタイミングt1と決定し、屈曲角を保持する。また、第2のタイミングt2で爪先部22tの屈曲角の保持を解除した後、屈曲角の検出値が零に達したときを第3のタイミングt3と決定し、屈曲角を再度保持する。

[0167] 尚、残余の構成は従前の実施例と同様であるため、説明を省略する。

[0168] このように、第5実施例にあつては、爪先部22tの屈曲角を検出するセンサを設け、検出値に基づいて屈曲角の保持を開始する第1および第3のタイミングt1, t3を決定するようにしたので、従前の実施例で述べた効果に加え、爪先部22tの屈曲角の保持動作をより適切なタイミングで実行することができる。

[0169] 尚、上記の説明は、図28および図29に示すように、第2実施例に係る足部222に回転軸222aの回転角を検出する回転角センサ222s(ロータリエンコーダや回転式ポテンショメータなど)を設け、よって爪先部222tの屈曲角を検出するようにした場合にも妥当するものである。また、第3実施例および第4実施例で説明した各足部に上記各センサを設けた場合にも、同様に妥当する。

## 実施例 6

[0170] 次いで、図30から図32を参照し、この発明の第6実施例に係る脚式移動ロボットおよびその制御装置について説明する。尚、以下の説明では、第4実施例で説明した足部224を備える脚式移動ロボットを前提とする。

[0171] 第6実施例にあつては、爪先立ちの期間、摩擦ブレーキ60を動作させて床反力モーメントを制御するようにした。

[0172] 従前の実施例との主な相違点は、前述した足部補償角決定部114c〜114fの演算処理と、屈曲角変化抑制機構の動作にあるので、以下、その点に焦点をおいて説明する。

[0173] 図30は、第6実施例に係る摩擦ブレーキ60の制御モードなどの遷移を示すタイム・チャートである。

[0174] 図30に示すように、この実施例に係る摩擦ブレーキ60の制御モードは、「LOCK」、「CNTRL」および「SEMIFREE」の3種からなる。また、コンプライアンス制御モー

ド(後述)は、「HOLD」、「CNTRL」および「RET」の3種からなる。

- [0175] 図31は、第6実施例に係る脚式移動ロボットの制御装置の中、足部補償角決定部の演算処理を示すブロック図である。尚、第1足部X補償角  $\theta_{1x}$ 、第1足部Y補償角  $\theta_{1y}$ 、第2足部X補償角  $\theta_{2x}$ 、第2足部Y補償角  $\theta_{2y}$ のいずれも同様のアルゴリズムで求められることから、下記では脚部の通し番号(n:1, 2)やX, Yの記載は省略する。
- [0176] 図31に示す処理で特徴的なことは、セレクトスイッチ130を備え、コンプライアンス制御モードに応じて積分器132の入力が切り換えられることである。
- [0177] 最初に、コンプライアンス制御モードとして「CNTRL」が選択されているとき(セレクトスイッチ130がCNTRL側に接続されているとき)の処理について説明すると、先ず、実足部床反力モーメントMactを発振防止用のローパスフィルタ134に通してMactfiltを得る。また、足部補償モーメントMdmdを補償フィルタ136に通し、それをMactfiltから減じ、偏差モーメントMdiffを得る。補償フィルタ136は、図12に示したそれと同様、足部補償モーメントMdmdから実全床反力までの伝達関数の周波数応答特性を改善するものである。
- [0178] そして、偏差モーメントMdiffにK\_cmpl(制御ゲイン)を乗じることによってコンプライアンス制御補償要求角  $\theta_{cmpl\_dmd}$ を求め、それを微分器138で微分した後、さらに積分器132で積分してコンプライアンス制御補償角  $\theta_{cmpl}$ を得る。
- [0179] 次に、図12で示した処理と同様に足部機構変形補償角  $\theta_{ff}$ を求め、それをコンプライアンス制御補償角  $\theta_{cmpl}$ に加算して足部補償角  $\theta$ を得る。
- [0180] 尚、積分器132の値は、「CNTRL」モードとなる前に次に説明する「RET」モードでほぼ零になっているので、コンプライアンス制御補償角  $\theta_{cmpl}$ はコンプライアンス制御補償要求角  $\theta_{cmpl\_dmd}$ にほぼ一致する。
- [0181] 次に、コンプライアンス制御モードとして「RET」が選択されているときの処理について説明する。コンプライアンス制御モードとして「RET」が選択されると、セレクトスイッチ130がRET側に接続され、積分器132にはコンプライアンス制御補償角  $\theta_{cmpl}$ に $-K_{ret}$ を乗じた値が入力される。これにより、コンプライアンス制御補償角  $\theta_{cmpl}$ の変化率が、 $-K_{ret} * \theta_{cmpl}$ となる。即ち、コンプライアンス制御補償角  $\theta_{cmpl}$ は

、時定数 $1/K_{ret}$ の1次遅れ系のステップ応答で、徐々に零に戻る。

[0182] 一方、コンプライアンス制御モードとして「HOLD」が選択されると、セレクトスイッチ130がHOLD側に接続され、積分器132に零が入力される。即ち、コンプライアンス制御補償角 $\theta_{cpl}$ として、それまでの値が保持される。

[0183] 次いで、第6実施例に係る摩擦ブレーキ60の油圧制御について説明する。図32は、その制御の処理を示すブロック図である。

[0184] 図32について説明すると、先ず、実足部床反力モーメント $M_{act}$ を発振防止用のローパスフィルタ140に通して $M_{actfilt}$ を得る。また、足部補償モーメント $M_{dmd}$ を周波数応答特性改善用の補償フィルタ142に通し、それを $M_{actfilt}$ から減じ、偏差モーメント $M_{diff}$ を得る。

[0185] 次に、偏差モーメント $M_{diff}$ に $K_b$ (制御ゲイン)を乗じることによって要求圧 $P_{dmd}$ を求め、それにオフセット圧 $P_{offset}$ を加算して得た値を油圧指令 $P_b$ として油圧発生ユニットに出力する。

[0186] 尚、上記は摩擦ブレーキ制御モードとして図示の如く「CNTRL」が選択されていてセレクトスイッチ144がCNTRL側に接続されているときの処理であり、「LOCK」または「SEMIFREE」が選択されているときは、第4実施例と同様に、セレクトスイッチ144を介して $P_{high}$ (屈曲角保持指令)または $P_{low}$ (屈曲角保持解除指令)が油圧指令 $P_b$ として油圧発生ユニットに出力される。

[0187] 上記を前提に図30タイム・チャートについて説明すると、コンプライアンス制御モードは、第4のタイミング $t_4$ から離床後の第5のタイミング $t_5$ までの間、「HOLD」が選択される。また、第5のタイミング $t_5$ から脚部2の着床前の第6のタイミング $t_6$ までの間(即ち、離床中の一定期間)は、「RET」が選択される。また、第6のタイミング $t_6$ から次の第4のタイミング $t_4$ までの間(即ち、脚部2の着床前からべた接地終了(爪先立ち開始)までの間)は、「CNTRL」が選択される。

[0188] 具体的に説明すると、脚部2が着床する前の第6のタイミング $t_6$ からべた接地が終了する第4のタイミング $t_4$ までの間は、通常のコンプライアンス制御を行う。一方、ロボット1が爪先立ちを開始する第4のタイミング $t_4$ から脚部2が離床した後の第5のタイミング $t_5$ までの間(即ち、少なくとも爪先立ち期間を含む期間)は、べた接地終了時の

コンプライアンス制御補償角  $\theta_{\text{cmpl}}$  を保持する。そして、第5のタイミング  $t_5$  から次の第6のタイミング  $t_6$  までの離床期間中にコンプライアンス制御補償角  $\theta_{\text{cmpl}}$  を零に戻し、次のコンプライアンス制御に備える。

[0189] ここで特徴的なことは、第4のタイミング  $t_4$  から次の第1のタイミング  $t_1$  までの間（即ち、爪先立ち期間）、摩擦ブレーキ60の制御モードが「CNTRL」に設定されることにある。即ち、この期間は、通常のコンプライアンス制御に代え、摩擦ブレーキ60に供給される油圧を制御することによってその摩擦力を調節し、よって爪先部224tの屈曲角を調節して床反力モーメントを制御するようにした。これにより、爪先立ち期間の姿勢の安定性をより向上させることができる。

[0190] 尚、残余の構成は従前の実施例と同様であるので、説明を省略する。但し、第6実施例は、爪先立ち期間に爪先部224tの屈曲角を調節して床反力モーメントを制御するように構成しているので、従前の実施例のようにロボット1が平地を移動するときと階段を上るときとで第1のタイミング  $t_1$  を相違させる必要は必ずしもない。

[0191] また、第6実施例は第4実施例に係る脚式移動ロボットを前提として説明したが、足部に摩擦ブレーキ60を備えていれば、他の実施例に係る脚式移動ロボットにも適用することができる。

## 実施例 7

[0192] 次いで、図33および図34を参照し、この発明の第7実施例に係る脚式移動ロボットおよびその制御装置について説明する。尚、以下の説明では、第1実施例で説明した足部22を備える脚式移動ロボットを前提とする。

[0193] ダンパ50のダンピング特性（即ち、ダンパ50が発生する抵抗の大きさ。換言すれば、屈曲角変化の抑制力）は、電磁ソレノイド50eを駆動してオリフィス50dの開口面積を変化させることにより、調節自在である。そこで、第7実施例にあつては、爪先立ちの期間、ダンパ50のダンピング特性を調節することによって爪先部22tの屈曲角を調節し、よって床反力モーメントを制御するようにした。

[0194] 図33は、第7実施例に係るダンパ50の制御モードなどの遷移を示すタイム・チャートである。

[0195] 図33に示すように、この実施例に係るダンパ制御モードは、「CLOSE」、「CNTRL

」および「OPEN」の3種からなる。また、コンプライアンス制御モードは、第6実施例と同様に「HOLD」、「CNTRL」および「RET」の3種からなる。

[0196] 以下、第6実施例との相違点について説明する。図34は、第7実施例に係るダンパ50の絞り量制御の処理を示すブロック図である。

[0197] 図34に示すように、先ず、実足部床反力モーメント $M_{act}$ を発振防止用のローパスフィルタ150に通して $M_{actfilt}$ を得る。また、足部補償モーメント $M_{dmd}$ を周波数応答特性改善用の補償フィルタ152に通し、それを $M_{actfilt}$ から減じ、偏差モーメント $M_{diff}$ を得る。

[0198] 次に、偏差モーメント $M_{diff}$ に $K_d$ (制御ゲイン)を乗じることによって要求ダンパ絞り量 $R_{d\_dmd}$ を求め、それにオフセット絞り量 $R_{d\_offset}$ を加算して得た値をダンパ絞り量指令 $R_d$ としてダンパ50に出力する。

[0199] 尚、上記はダンパ制御モードとして図示の如く「CNTRL」が選択されている(セレクトスイッチ154がCNTRL側に接続されている)ときの処理であり、「CLOSE」または「OPEN」が選択されているときは、第1実施例と同様に、セレクトスイッチ154を介して $R_{d\_close}$ (屈曲角保持指令)または $R_{d\_open}$ (屈曲角保持解除指令)がダンパ絞り量指令 $R_d$ としてダンパ50に出力される。

[0200] また、説明は省略するが、第7実施例にあっても前述した第6実施例の図31と同様な足部補償角決定部の演算処理が行われる。

[0201] 上記を前提に図33タイム・チャートについて説明すると、図示の如く、第4のタイミング $t_4$ から次の第1のタイミング $t_1$ までの間(即ち、爪先立ち期間)、ダンパ50の制御モードが「CNTRL」に設定される。また、コンプライアンス制御モードは、爪先立ち期間を含む第4のタイミング $t_4$ から第5のタイミング $t_5$ までの間、「HOLD」に設定される。即ち、爪先立ち期間は、通常のコンプライアンス制御に代え、電磁ソレノイド50eを駆動することによってオリフィス50dの開口面積を変化させてダンパ50のダンピング特性を調節し、よって爪先部22tの屈曲角を調節して床反力モーメントを制御するようにした。これにより、第6実施例と同様に、爪先立ち期間の姿勢の安定性をより向上させることができる。

[0202] 尚、残余の構成は従前の実施例と同様であるので、説明を省略する。但し、第7実



施例も第6実施例と同様に爪先立ち期間に爪先部の屈曲角を調節して床反力モーメントを制御するように構成しているので、ロボット1が平地を移動するときと階段を上るときとで第1のタイミング $t_1$ を相違させる必要は必ずしもない。

[0203] また、第7実施例は第1実施例に係る脚式移動ロボットを前提として説明したが、足部にダンパ50を備えていれば、他の実施例に係る脚式移動ロボットにも適用することができる。

## 実施例 8

[0204] 次いで、図35および図36を参照し、この発明の第8実施例に係る脚式移動ロボットおよびその制御装置について説明する。尚、以下の説明では、第3実施例で説明した足部223を備える脚式移動ロボットを前提とする。

[0205] 前述したように、ダンパ500は流体の流動抵抗を利用している。流体の流動抵抗はその流速に依存し、ダンパ500内の流体の流速は、爪先部223tの屈曲角速度に依存する。即ち、ダンパ500は、爪先部223tの屈曲角速度に対して設定された所定の抵抗特性を有し、その抵抗特性に従って爪先部223tの屈曲角変化を抑制していると言える。そこで、第8実施例にあつては、足部223の位置姿勢を操作して爪先部223tの屈曲角速度を調節することによってダンパ500が発生する抵抗の大きさを変化させ、よって床反力モーメントを制御するようにした。

[0206] 図35は、第8実施例に係るダンパ500の制御モードなどの遷移を示すタイム・チャートである。

[0207] 図35に示すように、屈曲角速度制御モード(後述)は、「HOLD」、「CNTRL」および「RET」の3種からなる。

[0208] 図36は、第8実施例に係る脚式移動ロボットの制御装置の中、足部補償角決定部の演算処理を示すブロック図である。尚、第6実施例と同様な理由から、下記では脚部の通し番号(n:1, 2)やX, Yの記載は省略する。

[0209] 図36に示す如く、第8実施例にあつては、セレクトスイッチ160を備え、屈曲角速度制御モードに応じて積分器162への入力を切り換えるようにした。

[0210] 最初に、屈曲角速度制御モードとして「CNTRL」が選択されているとき(セレクトスイッチ160がCNTRL側に接続されているとき)の処理について説明すると、先ず、実

足部床反力モーメント $M_{act}$ を発振防止用のローパスフィルタ164に通して $M_{actfilt}$ を得る。また、足部補償モーメント $M_{dmd}$ を周波数応答特性改善用の補償フィルタ166に通し、それを $M_{actfilt}$ から減じ、偏差モーメント $M_{diff}$ を得る。

[0211] そして、偏差モーメント $M_{diff}$ に $D_{cntrl}$ (制御ゲイン)を乗じて得た値を積分器162で積分してダンパ制御補償角 $\theta_{dcntrl}$ を求める。また、偏差モーメント $M_{diff}$ に $K_{cmpl}$ (制御ゲイン)を乗じて前記したコンプライアンス制御補償角 $\theta_{cmpl}$ を得る。

[0212] 最後に、ダンパ制御補償角 $\theta_{dcntrl}$ とコンプライアンス制御補償角 $\theta_{cmpl}$ を加算して得た値に、さらに第6実施例と同様にして求めた足部機構変形補償角 $\theta_{ff}$ を加算することにより、足部補償角 $\theta$ を得る。この足部補償角 $\theta$ に基づいてロボット1の関節変位を操作して足部223の位置姿勢を操作することにより、足部223の床に対する角速度、即ち、爪先部223tの屈曲角速度を調節してダンパ500が発生する抵抗の大きさを変化させ、よって床反力モーメントを制御する。尚、関節変位の操作に代え、ロボット1の歩容そのものを操作することによって足部223の位置姿勢を操作するようにしても良い。

[0213] 次いで、屈曲角速度制御モードとして「RET」が選択されているときの処理について説明する。屈曲角速度制御モードとして「RET」が選択されると、セレクトスイッチ160がRET側に接続され、積分器162にはダンパ制御補償角 $\theta_{dcntrl}$ に $-K_{ret}$ を乗じた値が入力される。これにより、ダンパ制御補償角 $\theta_{dcntrl}$ の変化率が、 $-K_{ret} * \theta_{dcntrl}$ となる。即ち、ダンパ制御補償角 $\theta_{dcntrl}$ は、時定数 $1/K_{ret}$ の1次遅れ系のステップ応答で、徐々に零に戻る。

[0214] 一方、屈曲角速度制御モードとして「HOLD」が選択されると、セレクトスイッチ160がHOLD側に接続され、積分器162に零が入力される。即ち、ダンパ制御補償角 $\theta_{dcntrl}$ として、それまでの値が保持される。

[0215] 尚、摩擦ブレーキ60の油圧制御に関しては、第3実施例のそれ(図20)と同様であるので、説明を省略する。

[0216] 上記を前提に図35タイム・チャートについて説明すると、屈曲角速度制御モードは、第4のタイミング $t_4$ から次の第1のタイミング $t_1$ までの間(即ち、爪先立ち期間)、「CNTRL」が選択される。また、第1のタイミング $t_1$ から離床中の第7のタイミング $t_7$ ま

での間、「HOLD」が選択される。また、第7のタイミング $t_7$ から第4のタイミング $t_4$ までの間(即ち、脚部2の着床前からべた接地終了(爪先立ち開始)までの間)、「RET」が選択される。

[0217] 屈曲角速度制御モードとして「CNTRL」が選択される爪先立ちの期間は、摩擦ブレーキ制御モードは「FREE」が選択されており、爪先部223tは屈曲自在とされる。即ち、この期間は、足部223の位置姿勢を変化させて爪先部223tの屈曲角速度を調節することにより、ダンパ500が発生する抵抗の大きさを操作し、よって床反力モーメントが制御するようにした。これにより、爪先立ち期間の姿勢の安定性をより向上させることができる。

[0218] 尚、残余の構成は従前の実施例と同様であるので、説明を省略する。但し、第8実施例も第6実施例と同様に爪先立ち期間に爪先部の屈曲角を調節して床反力モーメントを制御するように構成しているので、ロボット1が平地を移動するときと階段を上るときとで第1のタイミング $t_1$ を相違させる必要は必ずしもない。

[0219] また、第8実施例は第3実施例に係る脚式移動ロボットを前提として説明したが、足部にダンパ50(電磁ソレノイド付きのダンパ)を備えた他の実施例に係る脚式移動ロボットにも適用することができる。

## 実施例 9

[0220] 次いで、図37を参照し、この発明の第9実施例に係る脚式移動ロボットおよびその制御装置について説明する。

[0221] 第9実施例は、爪先部の屈曲角を検出するセンサを備えた第5実施例に係る脚式移動ロボットに、本出願人が先に提案した特開2000-147948号公報に記載される技術(床形状を推定する技術)と第6実施例で説明した制御を適用したものである。

[0222] 図37は、第9実施例に係る脚式移動ロボットの制御装置の中、足部補償角決定部の演算処理を示すブロック図である。尚、第6実施例と同様な理由から、下記では脚部の通し番号( $n:1, 2$ )やX, Yの記載は省略する。

[0223] 図37に示すように、第9実施例にあつては、第6実施例で述べた足部補償角決定部の構成(第6実施例と同一符号を付して示す)に、床形状推定器170が付加される。

- [0224] 以下、図37に示す処理について説明すると、第6実施例と同様の処理によって算出されたコンプライアンス制御補償角  $\theta_{cmpl}$  と足部機構変形補償角  $\theta_{ff}$  の和に、さらに床形状推定器170から出力された推定足部床傾斜偏差  $\theta_{festm}$  を加算して足部補償角  $\theta$  を求める。
- [0225] 床形状推定器170には、上記のようにして求めた足部補償角  $\theta$  の他、実足部床反力  $F_{act}$ ,  $M_{act}$  や上体傾斜角偏差  $\theta_{err}$ 、ストロークセンサ22sあるいは回転角センサ222sで検出した爪先部22tの屈曲角などが入力される。床形状推定器170は、それらに基づいて床形状推定値(具体的には、前記推定足部床傾斜偏差  $\theta_{festm}$  と、第1実施例で述べた両脚補償角  $\theta_{dbv}$  の算出に用いられるべき推定両脚間床傾斜偏差  $\theta_{fdbestmv}$ )を算出して出力する。尚、床形状推定器170の動作については、上記した特開2000-147948号公報に詳しいので説明を省略する。
- [0226] このように、第9実施例にあつては、爪先部の屈曲角などに基づいて床形状推定値を算出し、その値を足部補償角  $\theta$  (および両脚補償角  $\theta_{dbv}$ ) の算出に用いるパラメータとして追加するようにした。より概略的には、ロボット1が歩行する床の形状を推定すると共に、推定された床形状などに基づいて屈曲角変化抑制機構を動作させ、床反力モーメントを制御するようにした。これにより、爪先立ち期間の安定性をより一層向上させることができる。また、通常のコンプライアンス制御もより精度良く行うことができる。
- [0227] 尚、第9実施例では第6実施例で説明した足部補償角決定部に床形状推定器170を付加するようにしたが、他の実施例で説明した足部補償角決定部に付加しても良い。
- [0228] 以上の如く、この発明の第1から第9実施例にあつては、上体(24)と、上端が前記上体に連結される一方、下端に足部(22, 222, 223, 224)が連結される脚部(2R, 2L)とを備え、前記脚部を駆動して移動する脚式移動ロボット(1)において、前記足部が、前記脚部に連結される足部本体(22m, 222m, 223m, 224m)と、前記足部本体の前端に設けられ、前記足部本体に対して屈曲自在な爪先部(22t, 222t, 223t, 224t)とからなると共に、前記爪先部の屈曲角( $\theta_t$ )を前記爪先部の可動範囲で保持自在な屈曲角保持機構(ダンパ50、摩擦ブレーキ60)を備えるように構成し

た。

- [0229] また、前記爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構(ダンパ50、ダンパ500、摩擦ブレーキ60)を備えるように構成した。
- [0230] また、第1実施例および第3から第9実施例にあつては、前記爪先部(22t, 223t, 224t)が、前記足部本体(22m, 223m, 224m)に連続すると共に、撓みつつ屈曲する弾性材からなるように構成した。
- [0231] また、第2から第9実施例にあつては、前記爪先部(222t, 223t, 224t)が、ピッチ軸回りに回転自在な回転軸(222a)を介して前記足部本体(222m, 223m, 224m)の前端に連結されるように構成した。
- [0232] また、第2から第9実施例にあつては、前記爪先部を初期位置に復帰させる方向に付勢する付勢手段(復元バネ222b)を備えるように構成した。
- [0233] また、第3から第6実施例および第8実施例から第9実施例にあつては、前記屈曲角保持機構が、摩擦ブレーキ(60)からなるように構成した。
- [0234] また、第1, 2, 3, 5, 7, 8, 9実施例にあつては、前記屈曲角変化抑制機構が、ダンパ(50, 500)からなるように構成した。
- [0235] また、第4, 6, 9実施例にあつては、前記屈曲角保持機構および前記屈曲角変化抑制機構が、摩擦力が調節自在な摩擦ブレーキ(60)からなるように構成した。
- [0236] また、第1, 2, 5, 7, 9実施例にあつては、前記屈曲角保持機構および前記屈曲角変化抑制機構が、ダンパ(50)からなるように構成した。
- [0237] また、第1から第9実施例にあつては、上体(24)と、上端が前記上体に連結される一方、下端に足部(22, 222, 223, 224)が連結される脚部(2R, 2L)とを備え、前記脚部を駆動して移動すると共に、前記足部が、前記脚部に連結される足部本体と、前記足部本体(22m, 222m, 223m, 224m)の前端に設けられ、前記足部本体に対して屈曲自在な爪先部(22t, 222t, 223t, 224t)とからなる脚式移動ロボットの制御装置において、前記爪先部の屈曲角( $\theta$  t)を前記爪先部の可動範囲で保持自在な屈曲角保持機構(ダンパ50、摩擦ブレーキ60)と、前記屈曲角保持機構を動作させて前記爪先部の屈曲角の保持とその解除を制御する屈曲角制御手段(制御ユニット26)を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記脚部の離床時あるいはそ

れよりも前の第1のタイミング(t1)で前記爪先部の屈曲角を保持した後、前記脚部が離床した後の第2のタイミング(t2)で前記爪先部の屈曲角の保持を解除して前記爪先部を初期位置に復帰させるように構成した。

[0238] また、第1から第4実施例および第6から第9実施例にあつては、前記脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段(歩容生成器100)備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記生成された歩容に基づいて前記第1および第2のタイミングを決定するように構成した。

[0239] また、第5から第9実施例にあつては、前記爪先部(22t、222t)の屈曲角を検出する屈曲角検出手段(ストロークセンサ22s、回転角センサ222s)と、前記脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段(歩容生成器100)とを備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記検出された屈曲角に基づいて前記第1のタイミングを決定する一方、前記生成された歩容に基づいて前記第2のタイミングを決定するように構成した。

[0240] また、第1から第9実施例にあつては、前記屈曲角制御手段は、さらに、前記脚部の離床中であつて前記第2のタイミングよりも後の第3のタイミング(t3)で前記爪先部の屈曲角を保持した後、前記脚部の着床後であつて次の前記第1のタイミングよりも前の第4のタイミング(t4)で前記爪先部の屈曲角の保持を解除するように構成した。

[0241] また、第1から第4実施例および第6から第9実施例にあつては、前記脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段(歩容生成器100)を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記生成された歩容に基づいて前記第1から第4のタイミングを決定するように構成した。

[0242] また、第5から第9実施例にあつては、前記爪先部(22t、222t)の屈曲角を検出する屈曲角検出手段(ストロークセンサ22s、回転角センサ222s)と、前記脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段(歩容生成器100)とを備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記検出された屈曲角に基づいて前記第1および第3のタイミングを決定する一方、前記生成された歩容に基づいて前記第2および第4のタイミングを決定するように構成した。

[0243] また、第4実施例にあつては、前記爪先部(224t)の屈曲角変化を抑制する屈曲角

変化抑制機構(摩擦ブレーキ60)を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記第2のタイミングで前記爪先部の屈曲角の保持を解除すると同時に、前記屈曲角変化抑制機構を動作させて前記屈曲角を漸減させ、前記爪先部を徐々に初期位置に復帰させるように構成した。

[0244] また、第6, 7, 9実施例にあつては、前記爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構(ダンパ50、摩擦ブレーキ60)を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記第4のタイミングから次の前記第1のタイミングまでの間、前記屈曲角変化抑制機構を動作させて前記足部を通じて作用する床反力(床反力モーメント)を制御するように構成した。

[0245] また、第8実施例にあつては、前記爪先部の屈曲角変化を、その屈曲角速度に対して設定された所定の抵抗特性に従って抑制する屈曲角変化抑制機構(ダンパ500)を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記第4のタイミングから次の前記第1のタイミングまでの間、前記足部(22R(L))の位置姿勢を操作して前記屈曲角速度を調節し、よって前記屈曲角変化抑制機構が発生する抵抗の大きさを変化させて前記足部を通じて作用する床反力(床反力モーメント)を制御するように構成した。

[0246] また、第9実施例にあつては、前記爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構(ダンパ50、摩擦ブレーキ60)と、前記爪先部の屈曲角を検出する屈曲角検出手段(ストロークセンサ22s、回転角センサ222s)と、少なくとも前記検出された屈曲角に基づいて前記脚部が接地する床の形状を推定する床形状推定手段(床形状推定器170)とを備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記第4のタイミングから次の前記第1のタイミングまでの間、少なくとも前記推定された床形状に基づいて前記屈曲角変化抑制機構を動作させ、よって前記足部を通じて作用する床反力(床反力モーメント)を制御するように構成した。

[0247] 尚、上記において、着床時の衝撃緩和と制御性の向上に必要なコンプライアンス機構42R(L)を、バネ機構体38R(L)とソール40R(L)とから構成したが、例えば足底に板バネを設け、その弾性を利用するようにしても良い。板バネの材質としては、軽量化の観点から、弾性を備えたカーボンなどが好ましい。

[0248] また、爪先部の屈曲角を保持する屈曲角保持機構ならびに屈曲角変化を抑制する

屈曲角変化抑制機構としてダンパと摩擦ブレーキを例に挙げたが、それらに限られないのは言うまでもない。例えば、屈曲角保持機構としては、ラチェット機構を用いても良い。屈曲角保持機構としてダンパや摩擦ブレーキを用いた場合、屈曲角は、爪先部の可動範囲において連続する全ての角度で保持可能である。これに対し、ラチェット機構の場合、ラチェットのギヤ数に対応した複数の角度の中のいずれかに保持される(即ち、ラチェットの送り角の範囲内には保持できず、保持可能な角度が非連続となる)ことになるが、屈曲角を保持する際の動作が不要となるという利点もある。

### 産業上の利用可能性

- [0249] この発明によれば、脚式移動ロボットにおいて、足部は、足部本体と、足部本体の前端に設けられ、屈曲自在な爪先部とからなると共に、爪先部の屈曲角を保持自在な屈曲角保持機構を備えるように構成される。また、脚式移動ロボットの制御装置においては、脚部の離床時あるいはそれよりも前の第1のタイミングで爪先部の屈曲角を保持し、脚部が離床した後の第2のタイミングで爪先部を初期位置に復帰させるように構成される。それにより、脚部の離床後も離床時の屈曲角を保持し続けることができ、よって離床直後に爪先部が床面に接触して姿勢が不安定になるのを防止することができる。また、爪先立ちしているときの安定性も向上させることができる。



### 請求の範囲

- [1] 上体と、上端が前記上体に連結される一方、下端に足部が連結される脚部とを備え、前記脚部を駆動して移動する脚式移動ロボットにおいて、前記足部が、前記脚部に連結される足部本体と、前記足部本体の前端に設けられ、前記足部本体に対して屈曲自在な爪先部とからなると共に、前記爪先部の屈曲角を前記爪先部の可動範囲で保持自在な屈曲角保持機構を備えることを特徴とする脚式移動ロボット。
- [2] 前記爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構を備えることを特徴とする請求項1記載の脚式移動ロボット。
- [3] 前記爪先部が、前記足部本体に連続すると共に、撓みつつ屈曲する弾性材からなることを特徴とする請求項1または2記載の脚式移動ロボット。
- [4] 前記爪先部が、ピッチ軸回りに回転自在な回転軸を介して前記足部本体の前端に連結されることを特徴とする請求項1または2記載の脚式移動ロボット。
- [5] 前記爪先部を初期位置に復帰させる方向に付勢する付勢手段を備えることを特徴とする請求項4記載の脚式移動ロボット。
- [6] 前記屈曲角保持機構が、摩擦ブレーキからなることを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載の脚式移動ロボット。
- [7] 前記屈曲角変化抑制機構が、ダンパからなることを特徴とする請求項2から6のいずれかに記載の脚式移動ロボット。
- [8] 前記屈曲角保持機構および前記屈曲角変化抑制機構が、摩擦力が調節自在な摩擦ブレーキからなることを特徴とする請求項2から5のいずれかに記載の脚式移動ロボット。
- [9] 前記屈曲角保持機構および前記屈曲角変化抑制機構が、ダンパからなることを特徴とする請求項2から5のいずれかに記載の脚式移動ロボット。
- [10] 上体と、上端が前記上体に連結される一方、下端に足部が連結される脚部とを備え、前記脚部を駆動して移動すると共に、前記足部が、前記脚部に連結される足部本体と、前記足部本体の前端に設けられ、前記足部本体に対して屈曲自在な爪先部とからなる脚式移動ロボットの制御装置において、前記爪先部の屈曲角を前記爪先部の可動範囲で保持自在な屈曲角保持機構と、前記屈曲角保持機構を動作させ

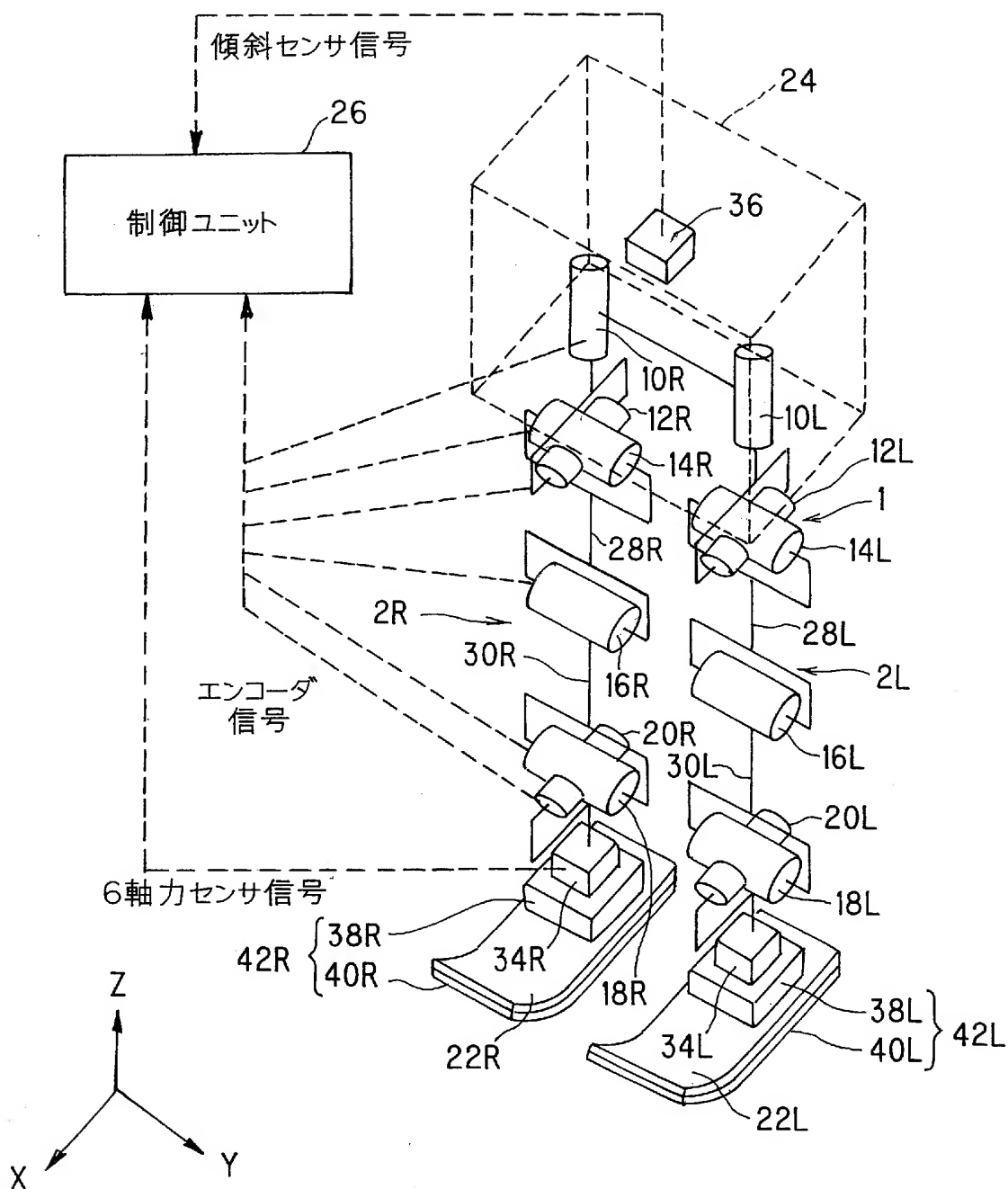
て前記爪先部の屈曲角の保持とその解除を制御する屈曲角制御手段とを備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記脚部の離床時あるいはそれよりも前の第1のタイミングで前記爪先部の屈曲角を保持した後、前記脚部の離床後の第2のタイミングで前記爪先部の屈曲角の保持を解除して前記爪先部を初期位置に復帰させることを特徴とする脚式移動ロボットの制御装置。

- [11] 前記脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記生成された歩容に基づいて前記第1および第2のタイミングを決定することを特徴とする請求項10記載の脚式移動ロボットの制御装置。
- [12] 前記爪先部の屈曲角を検出する屈曲角検出手段と、前記脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段とを備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記検出された屈曲角に基づいて前記第1のタイミングを決定する一方、前記生成された歩容に基づいて前記第2のタイミングを決定することを特徴とする請求項10記載の脚式移動ロボットの制御装置。
- [13] 前記屈曲角制御手段は、さらに、前記脚部の離床中であって前記第2のタイミングよりも後の第3のタイミングで前記爪先部の屈曲角を保持した後、前記脚部の着床後であって次の前記第1のタイミングよりも前の第4のタイミングで前記爪先部の屈曲角の保持を解除することを特徴とする請求項10記載の脚式移動ロボットの制御装置。
- [14] 前記脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記生成された歩容に基づいて前記第1から第4のタイミングを決定することを特徴とする請求項13記載の脚式移動ロボットの制御装置。
- [15] 前記爪先部の屈曲角を検出する屈曲角検出手段と、前記脚式移動ロボットの歩容を生成する歩容生成手段とを備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記検出された屈曲角に基づいて前記第1および第3のタイミングを決定する一方、前記生成された歩容に基づいて前記第2および第4のタイミングを決定することを特徴とする請求項13記載の脚式移動ロボットの制御装置。
- [16] 前記爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記第2のタイミングで前記爪先部の屈曲角の保持を解除する

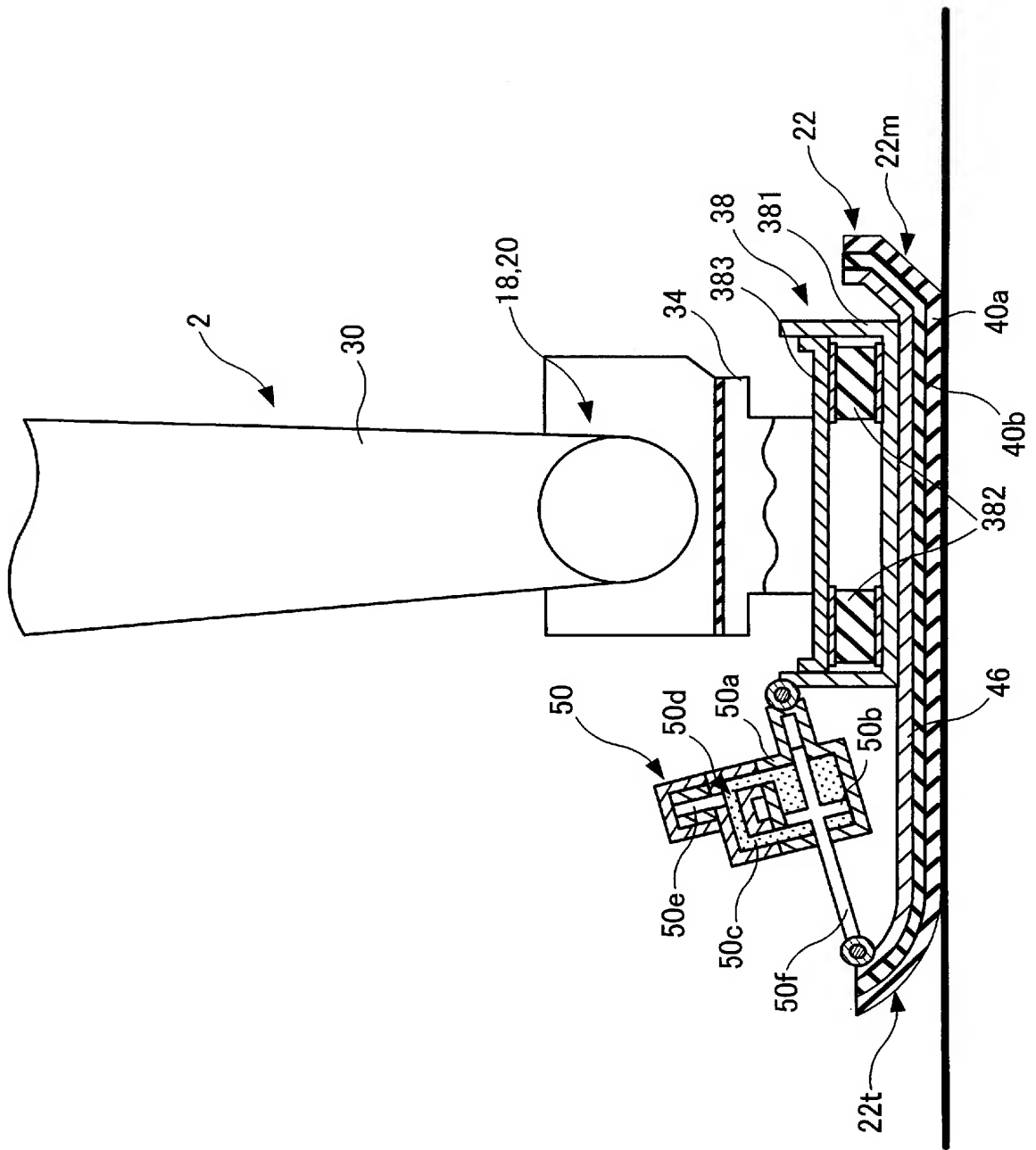
と同時に、前記屈曲角変化抑制機構を動作させて前記屈曲角を漸減させ、前記爪先部を徐々に初期位置に復帰させることを特徴とする請求項10から15のいずれかに記載の脚式移動ロボットの制御装置。

- [17] 前記爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記第4のタイミングから次回の前記第1のタイミングまでの間、前記屈曲角変化抑制機構を動作させて前記足部を通じて作用する床反力を制御することを特徴とする請求項13から15のいずれかに記載の脚式移動ロボットの制御装置。
- [18] 前記爪先部の屈曲角変化を、その屈曲角速度に対して設定された所定の抵抗特性に従って抑制する屈曲角変化抑制機構を備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記第4のタイミングから次回の前記第1のタイミングまでの間、前記足部の位置姿勢を操作して前記屈曲角速度を調節し、よって前記屈曲角変化抑制機構が発生する抵抗の大きさを変化させて前記足部を通じて作用する床反力を制御することを特徴とする請求項13から15のいずれかに記載の脚式移動ロボットの制御装置。
- [19] 前記爪先部の屈曲角変化を抑制する屈曲角変化抑制機構と、前記爪先部の屈曲角を検出する屈曲角検出手段と、少なくとも前記検出された屈曲角に基づいて前記足部が接地する床の形状を推定する床形状推定手段とを備えると共に、前記屈曲角制御手段は、前記第4のタイミングから次回の前記第1のタイミングまでの間、少なくとも前記推定された床形状に基づいて前記屈曲角変化抑制機構を動作させ、よって前記足部を通じて作用する床反力を制御することを特徴とする請求項13から18のいずれかに記載の脚式移動ロボットの制御装置。

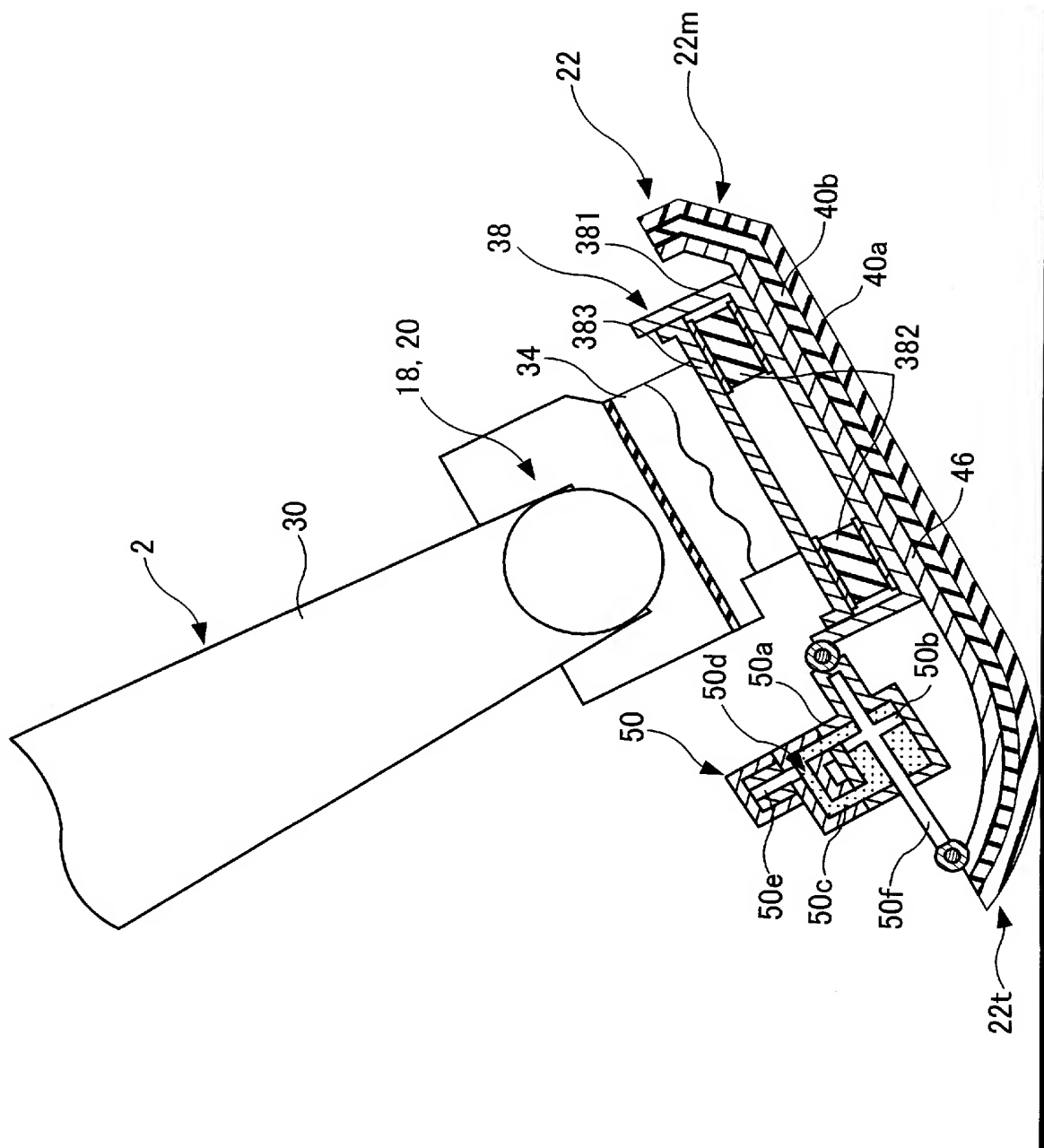
[図1]



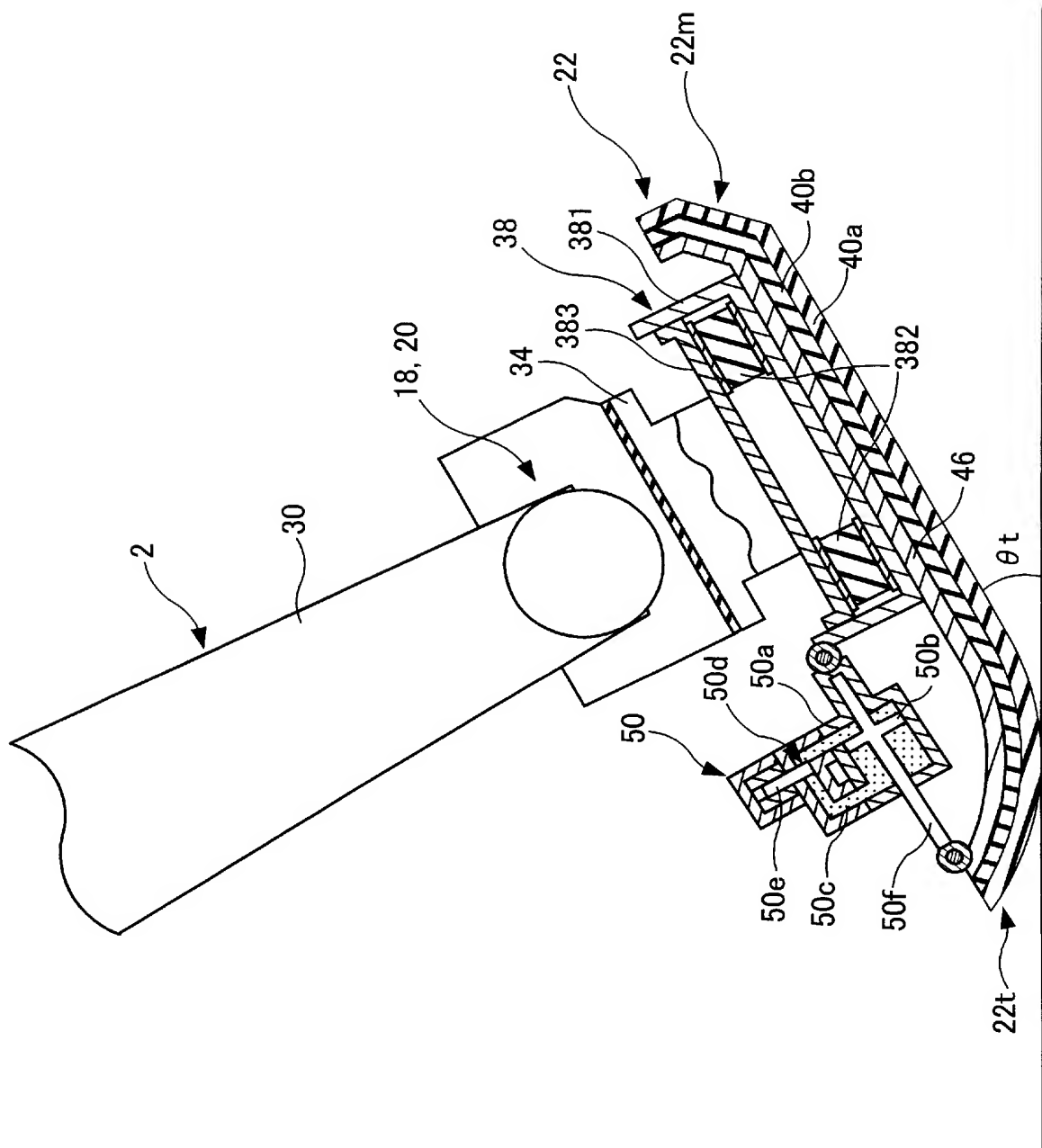
[図2]



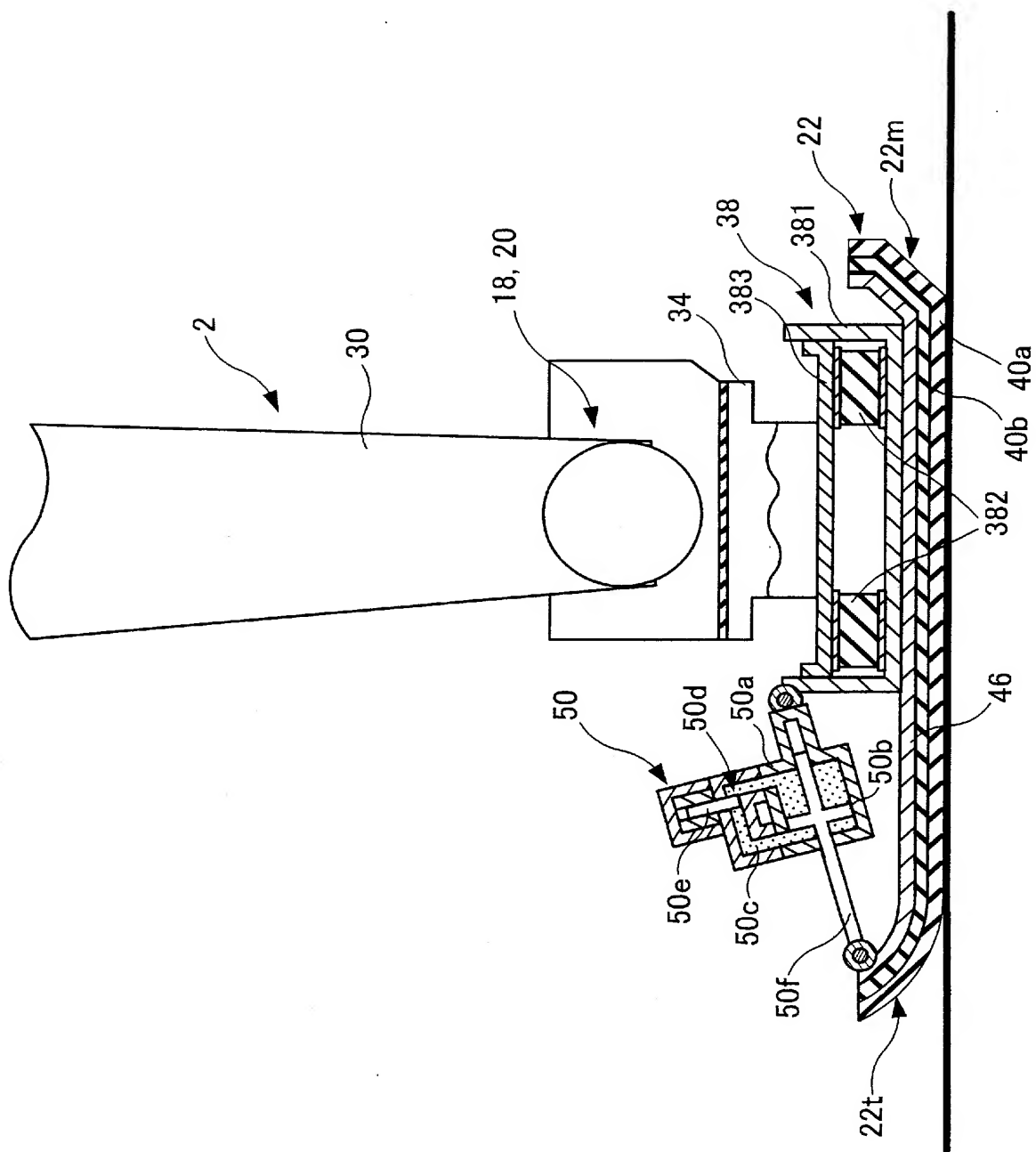
[図3]



[図4]

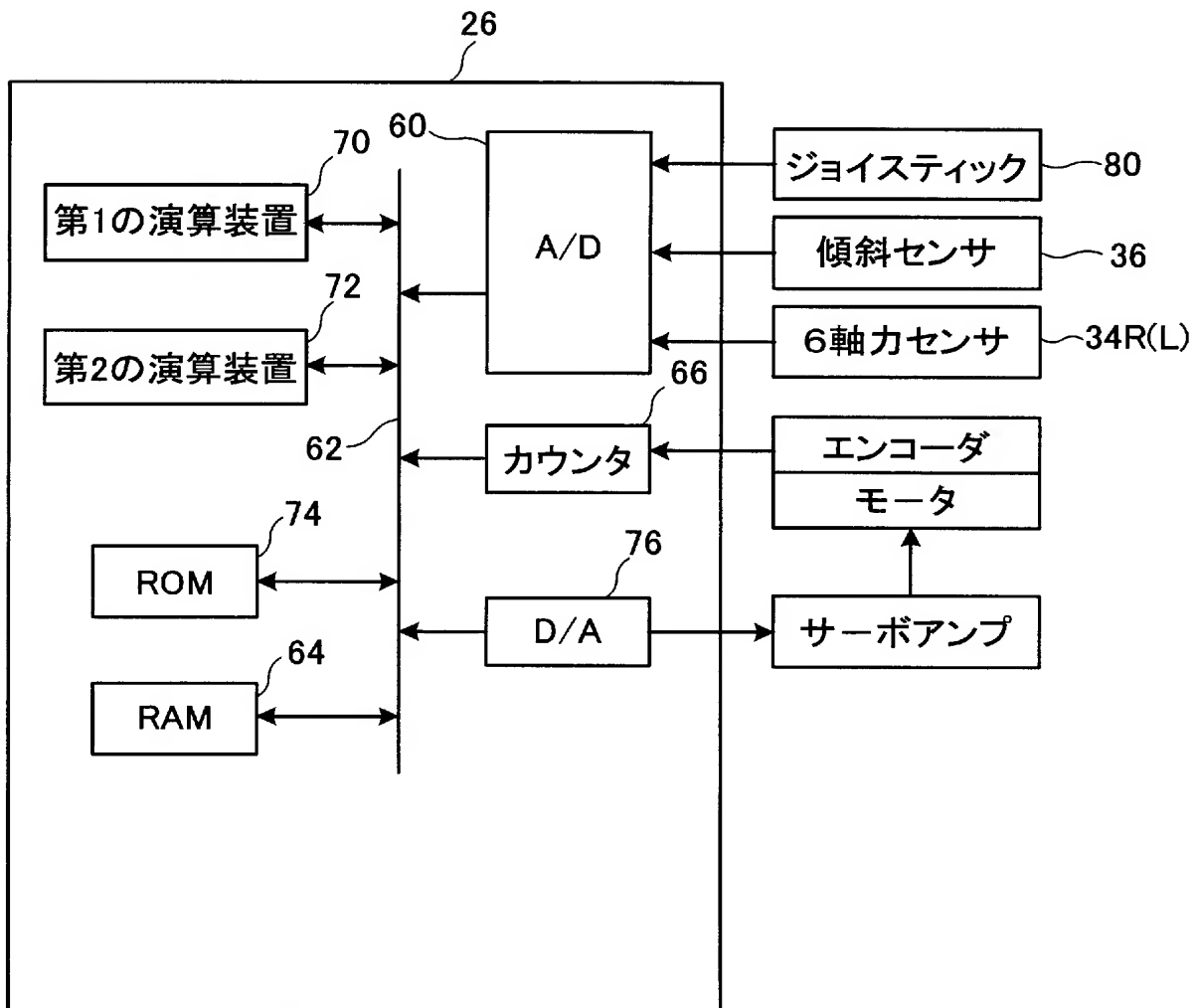


[図5]

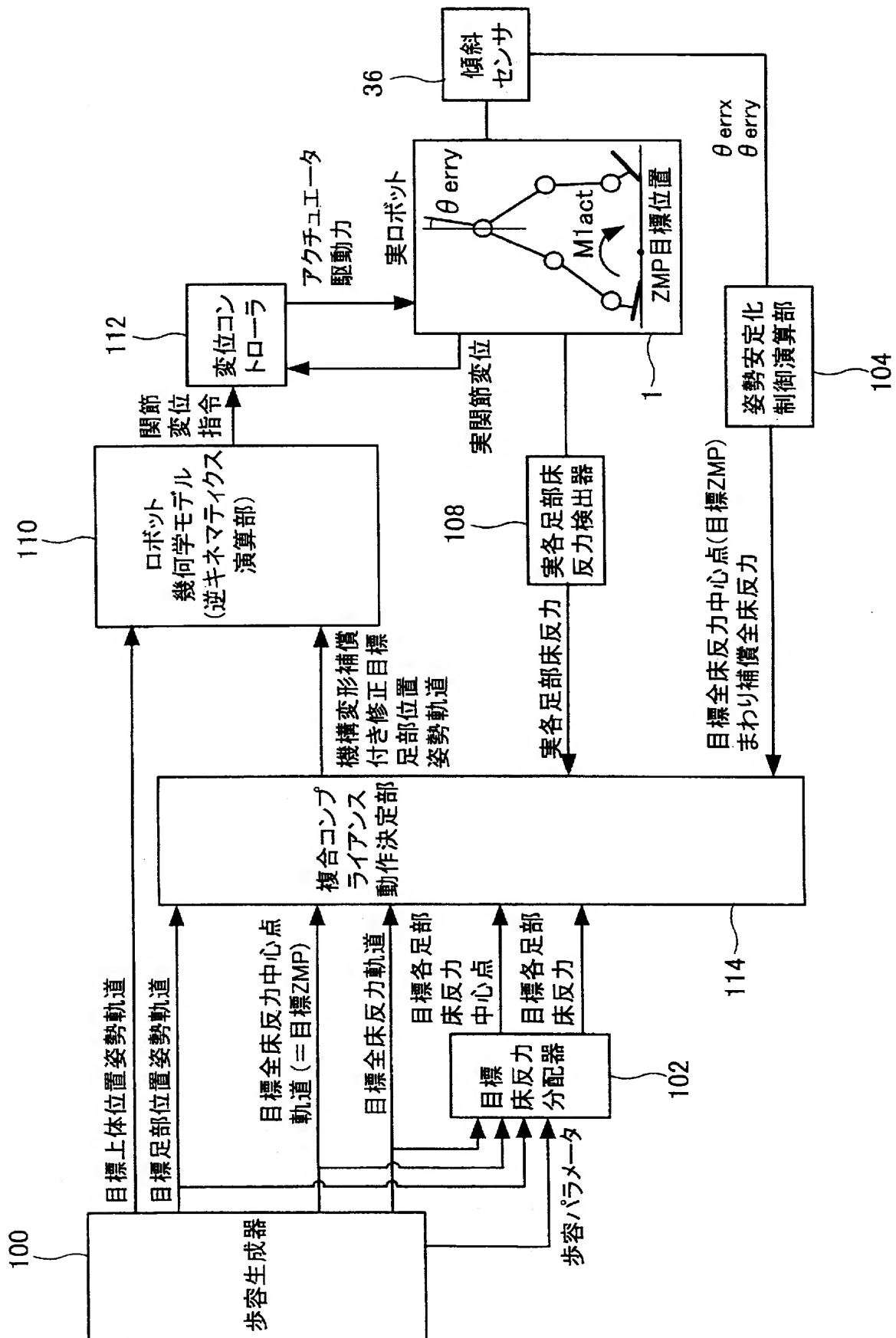




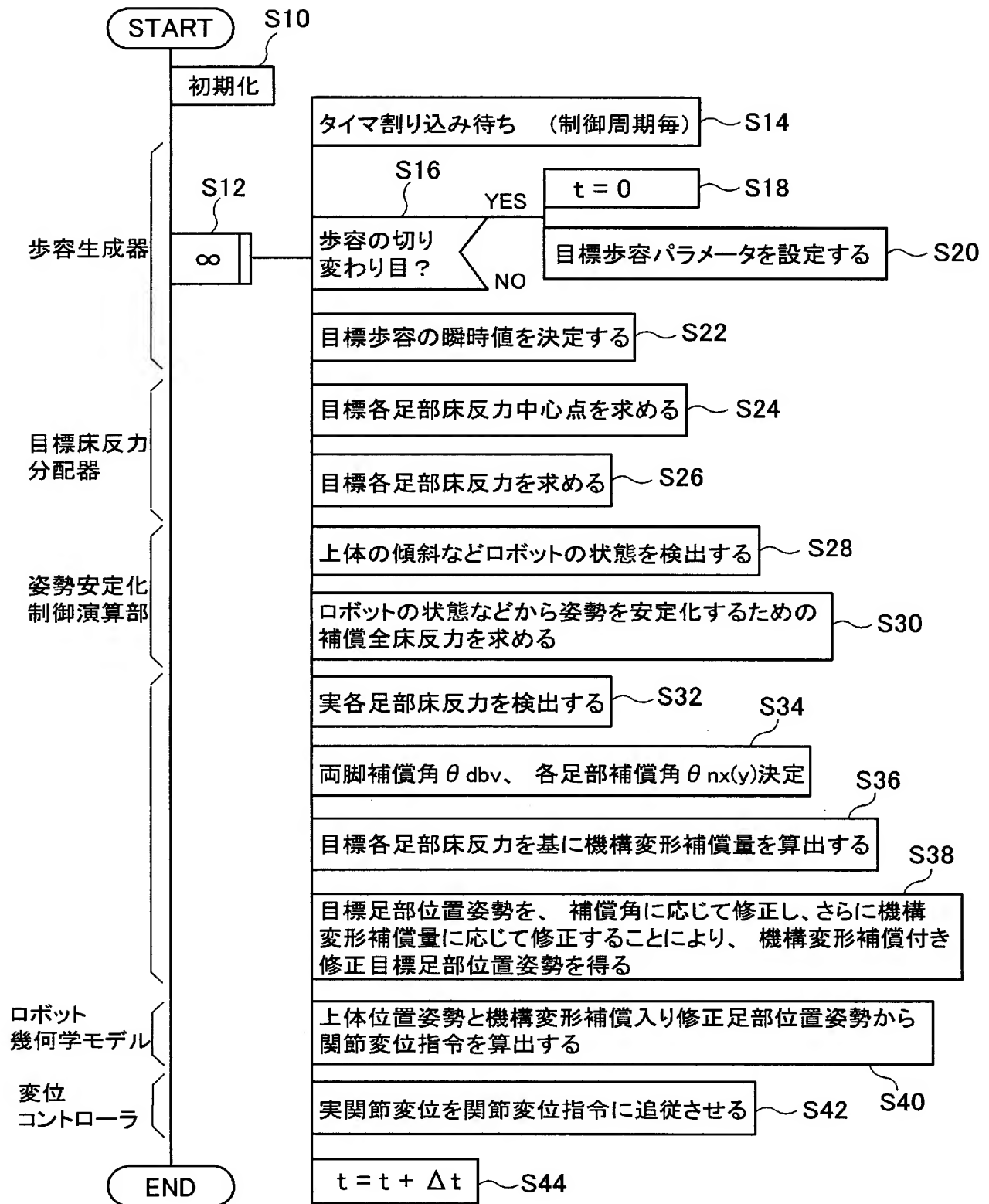
[図6]



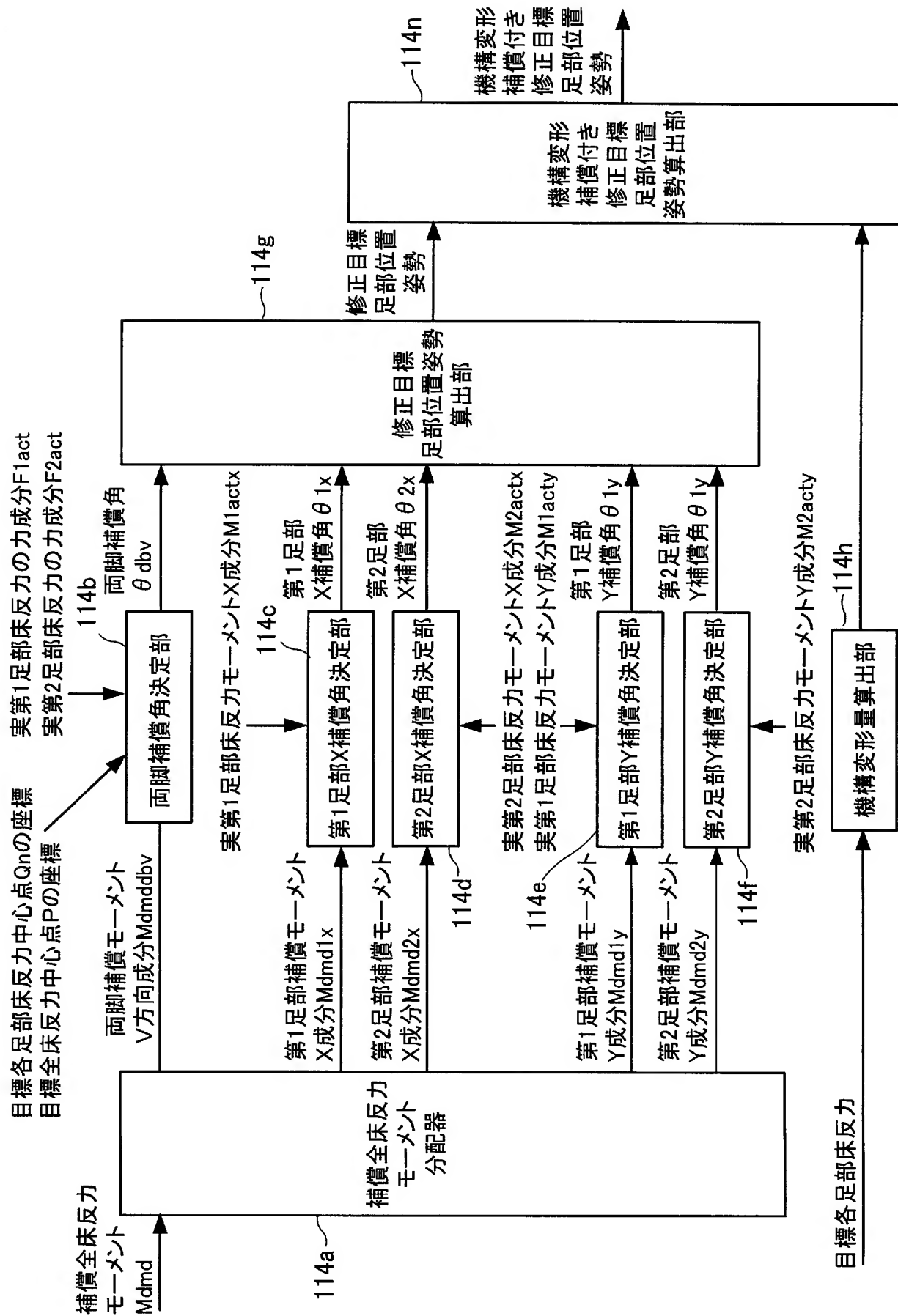
[図7]



[図8]



[図9]



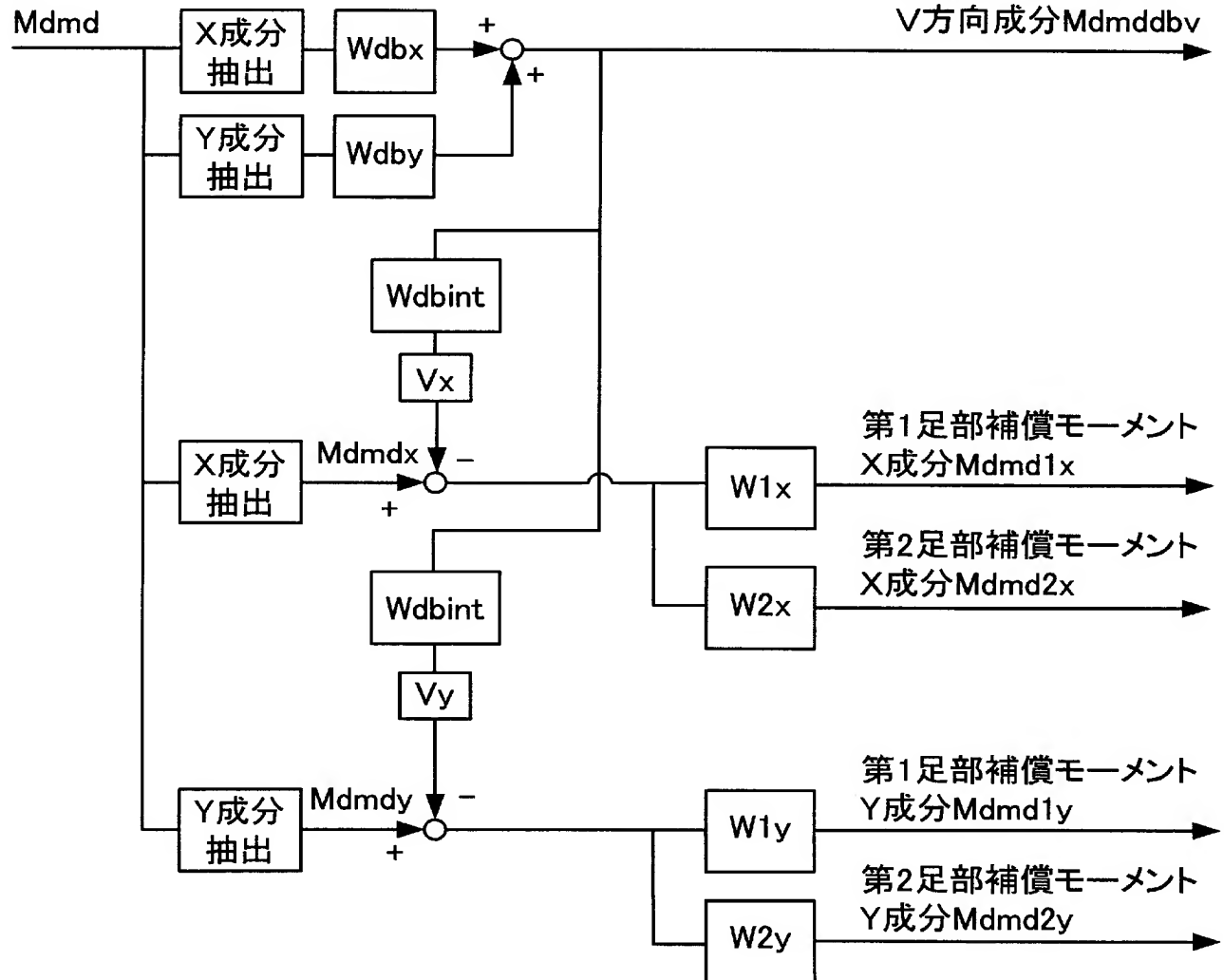
[図10]

補償全床反力  
モーメント

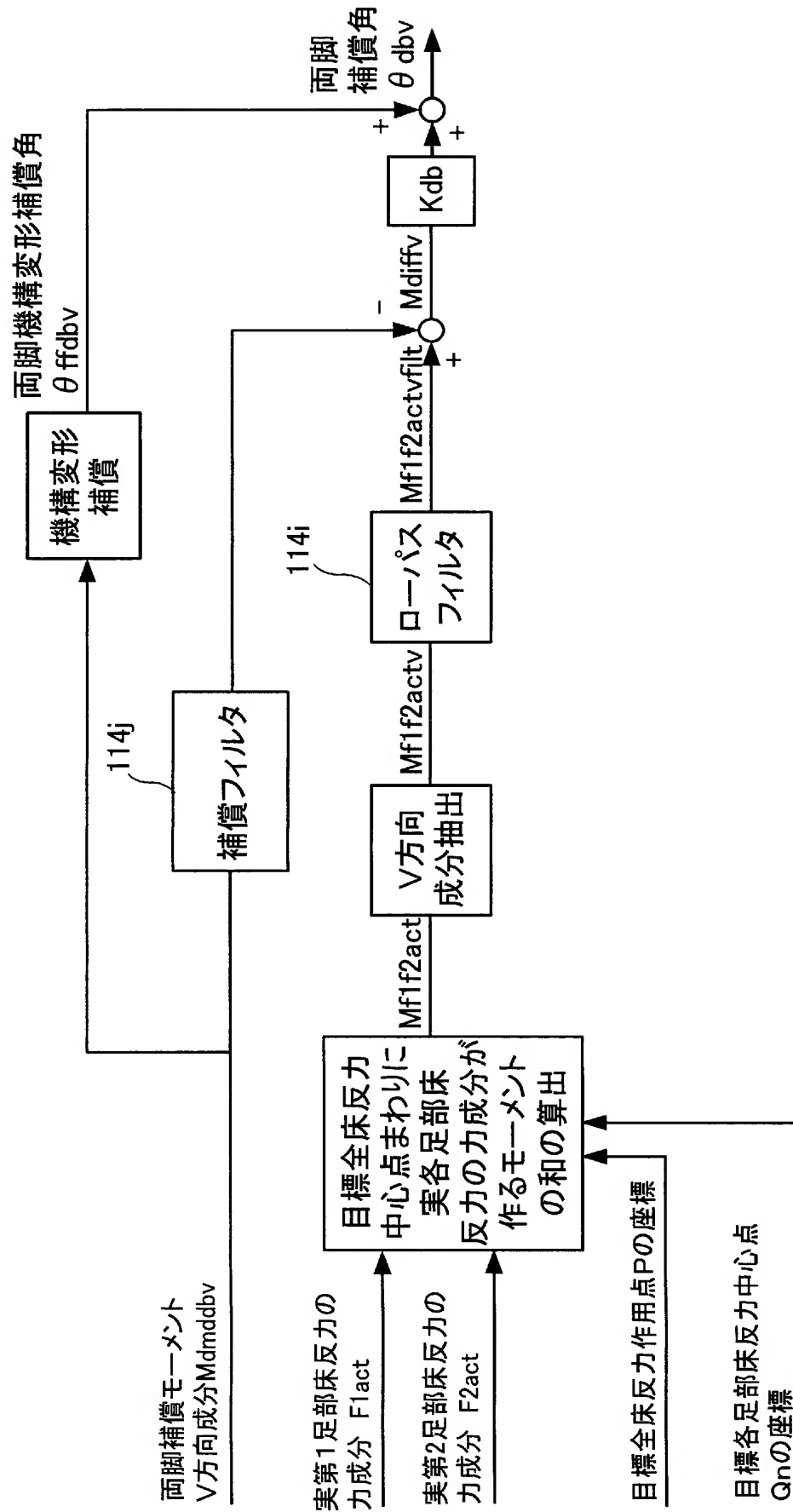
Mdmd

両脚補償モーメント

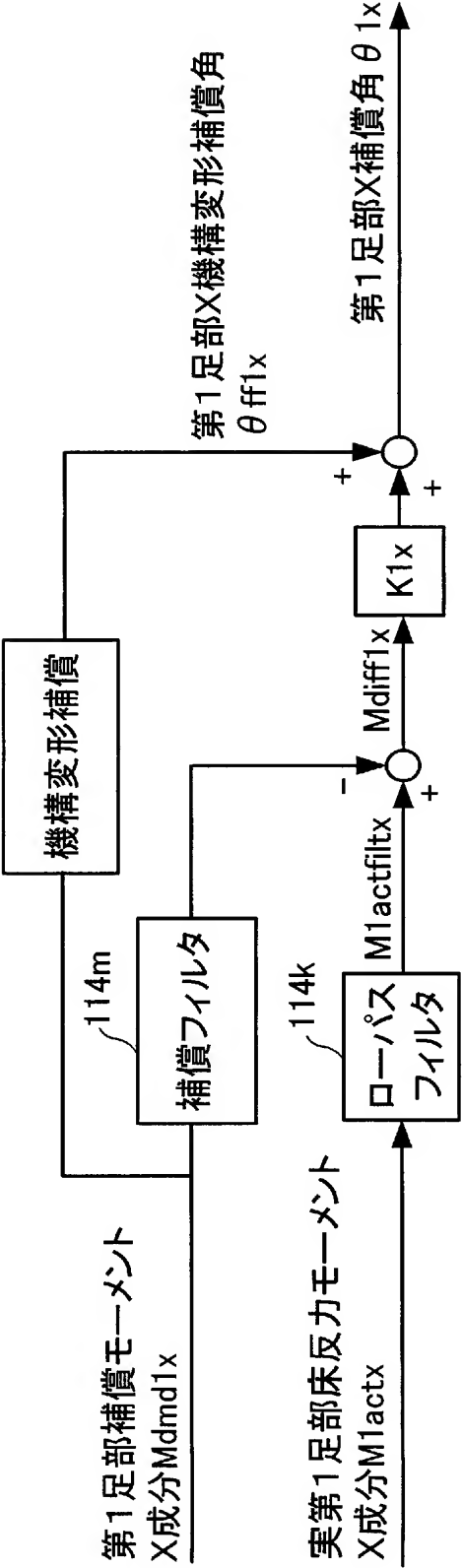
V方向成分Mdmdbv



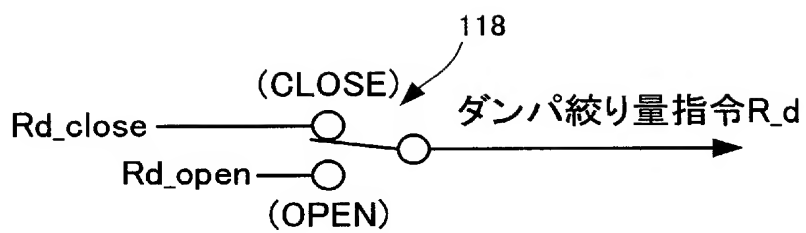
[図11]



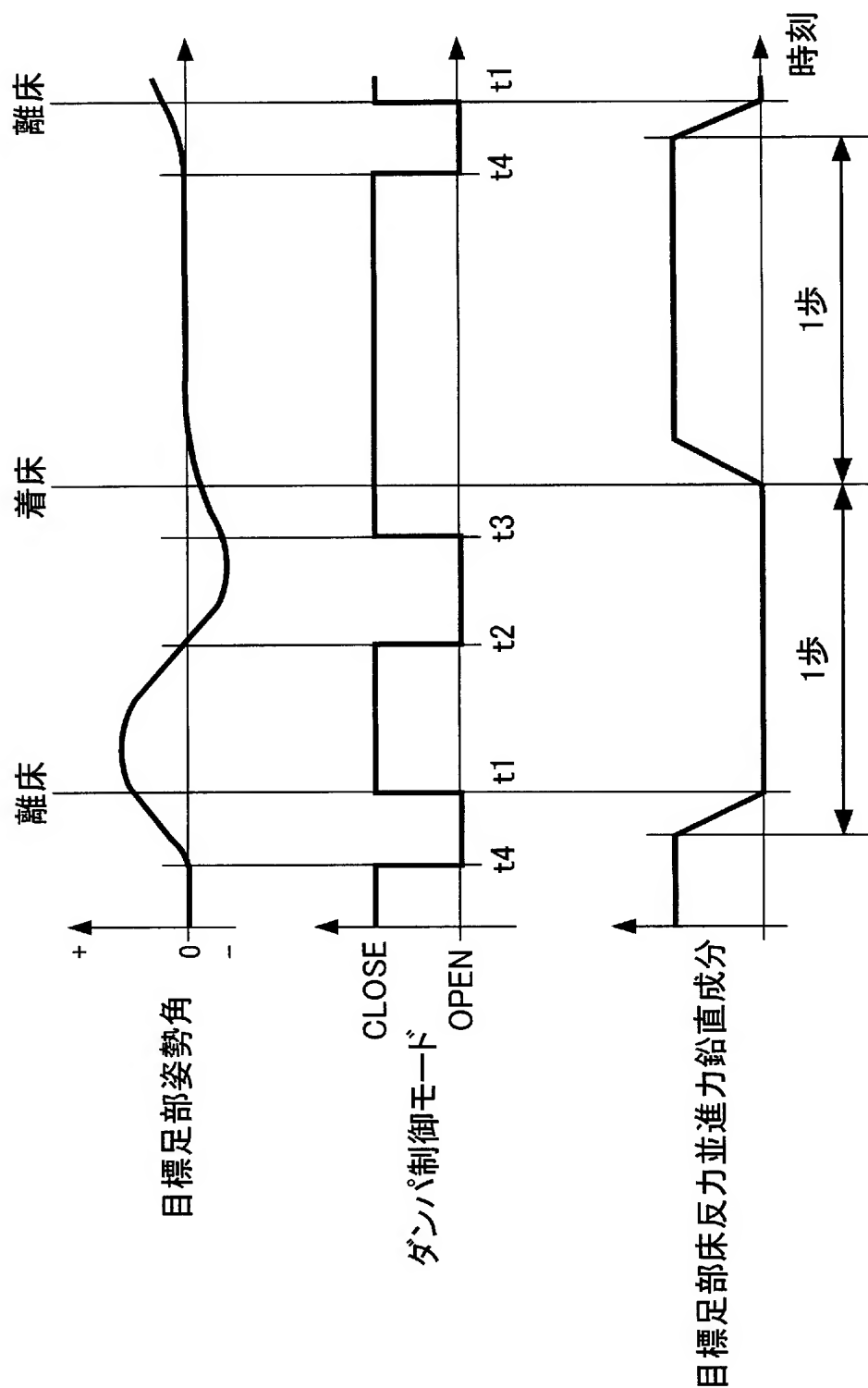
[図12]



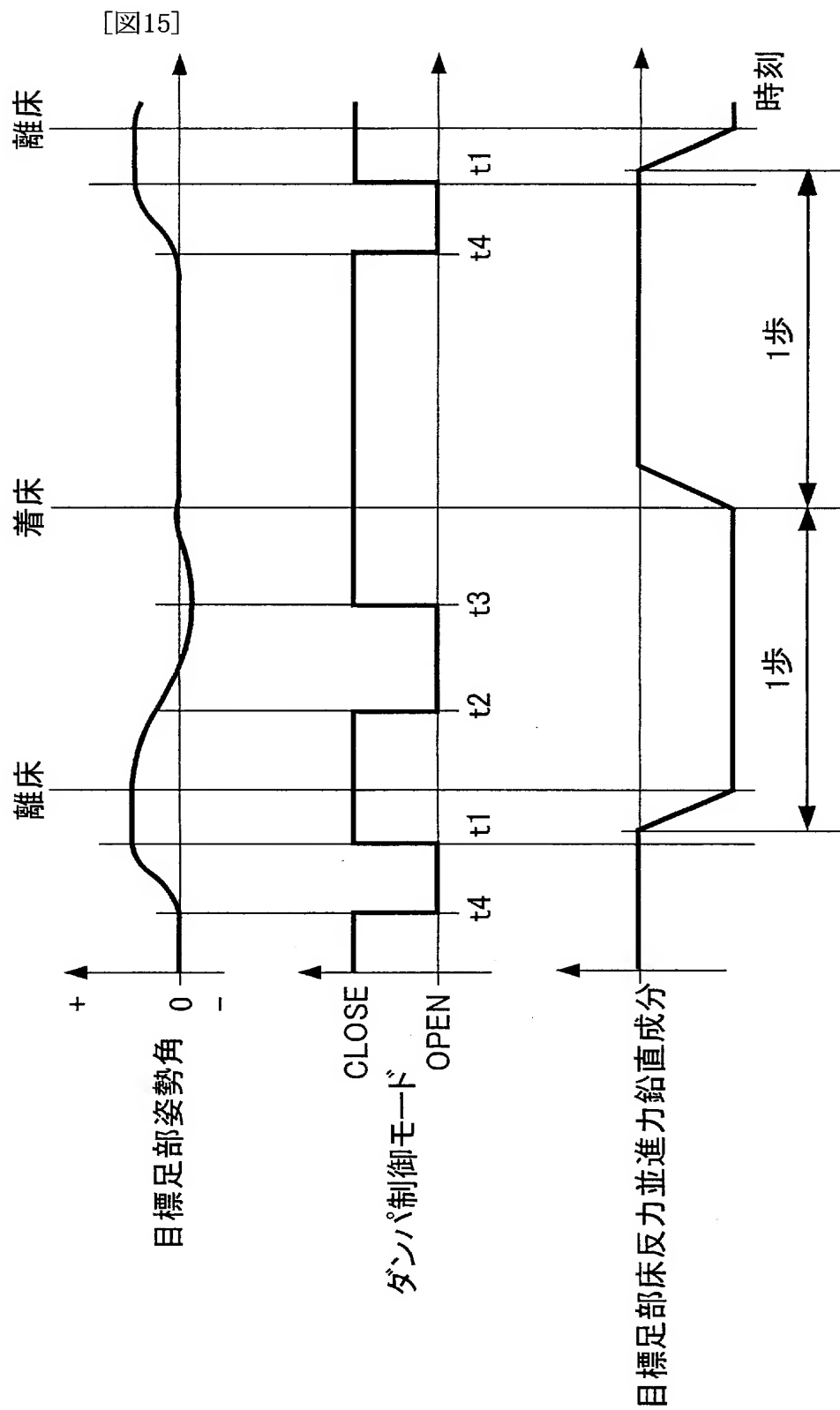
[図13]



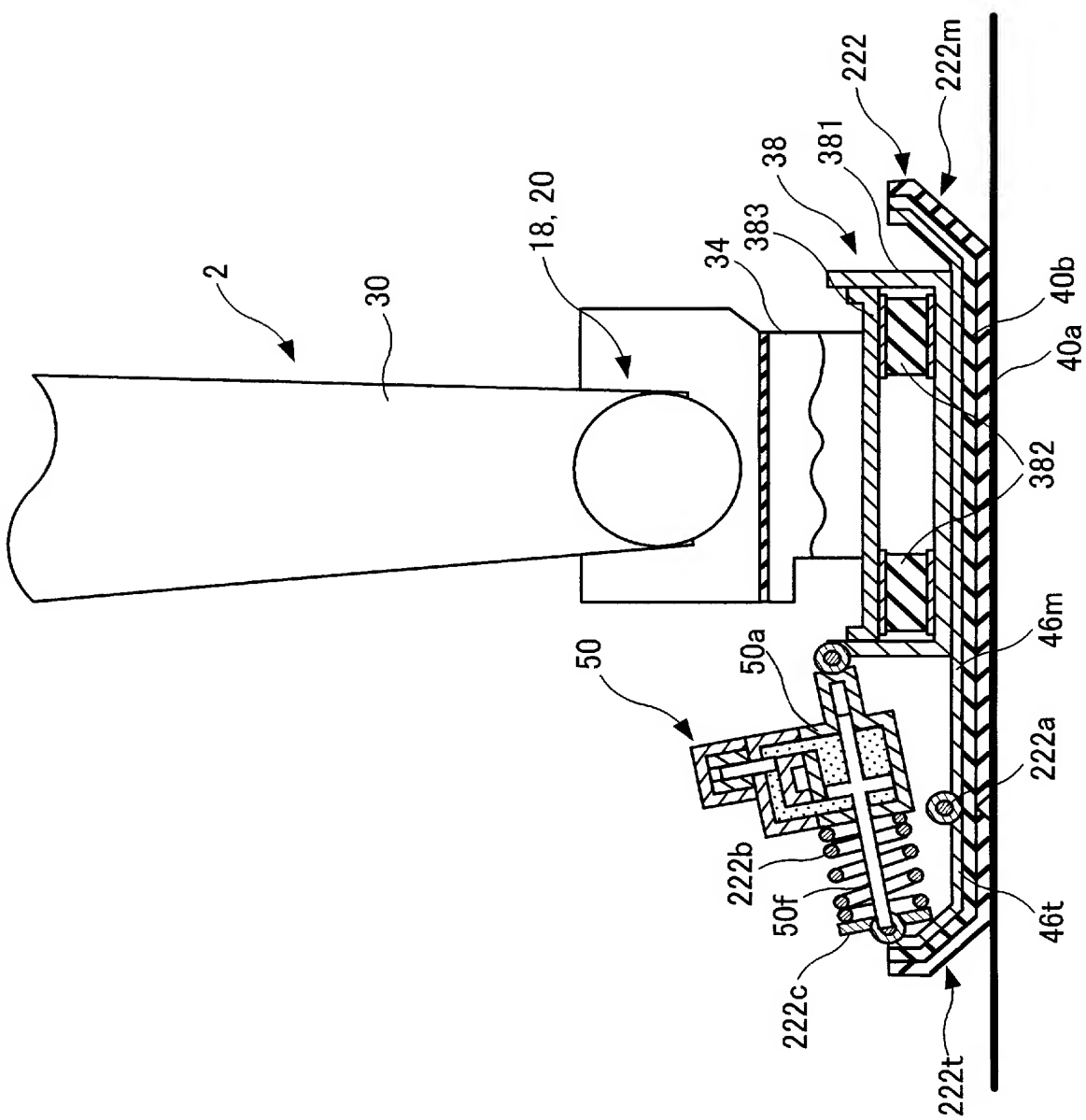
[図14]



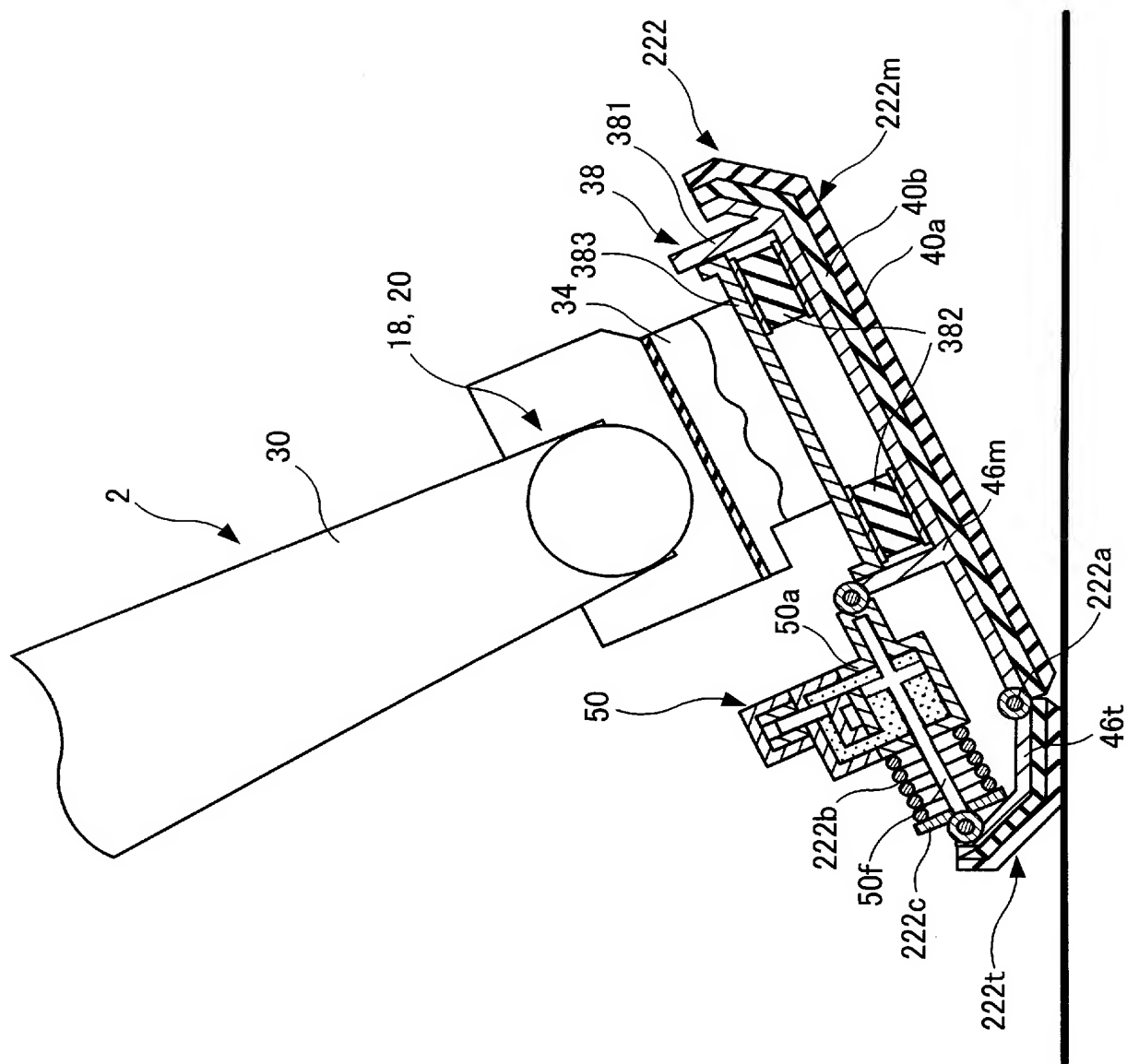




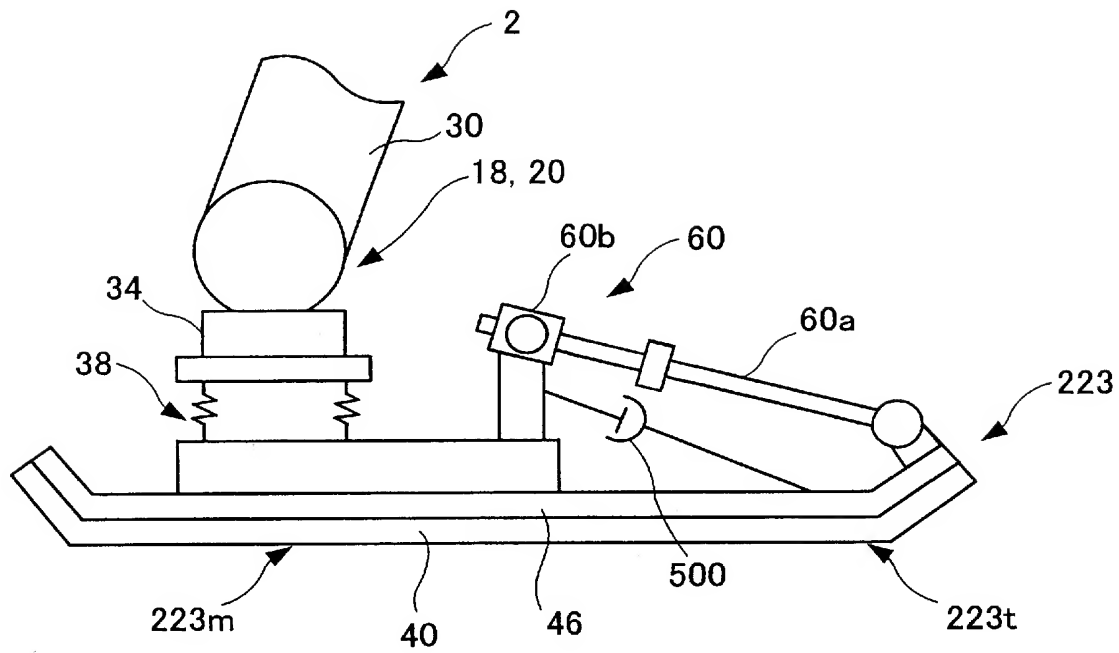
[図16]



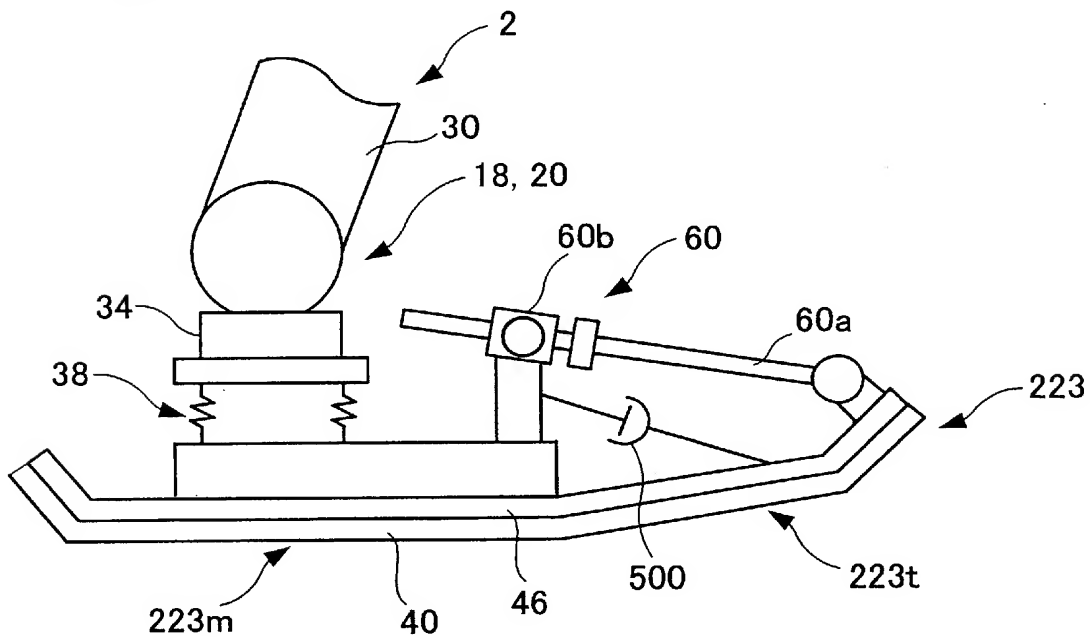
[図17]



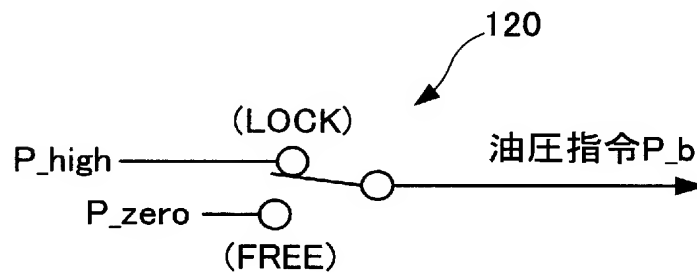
[図18]



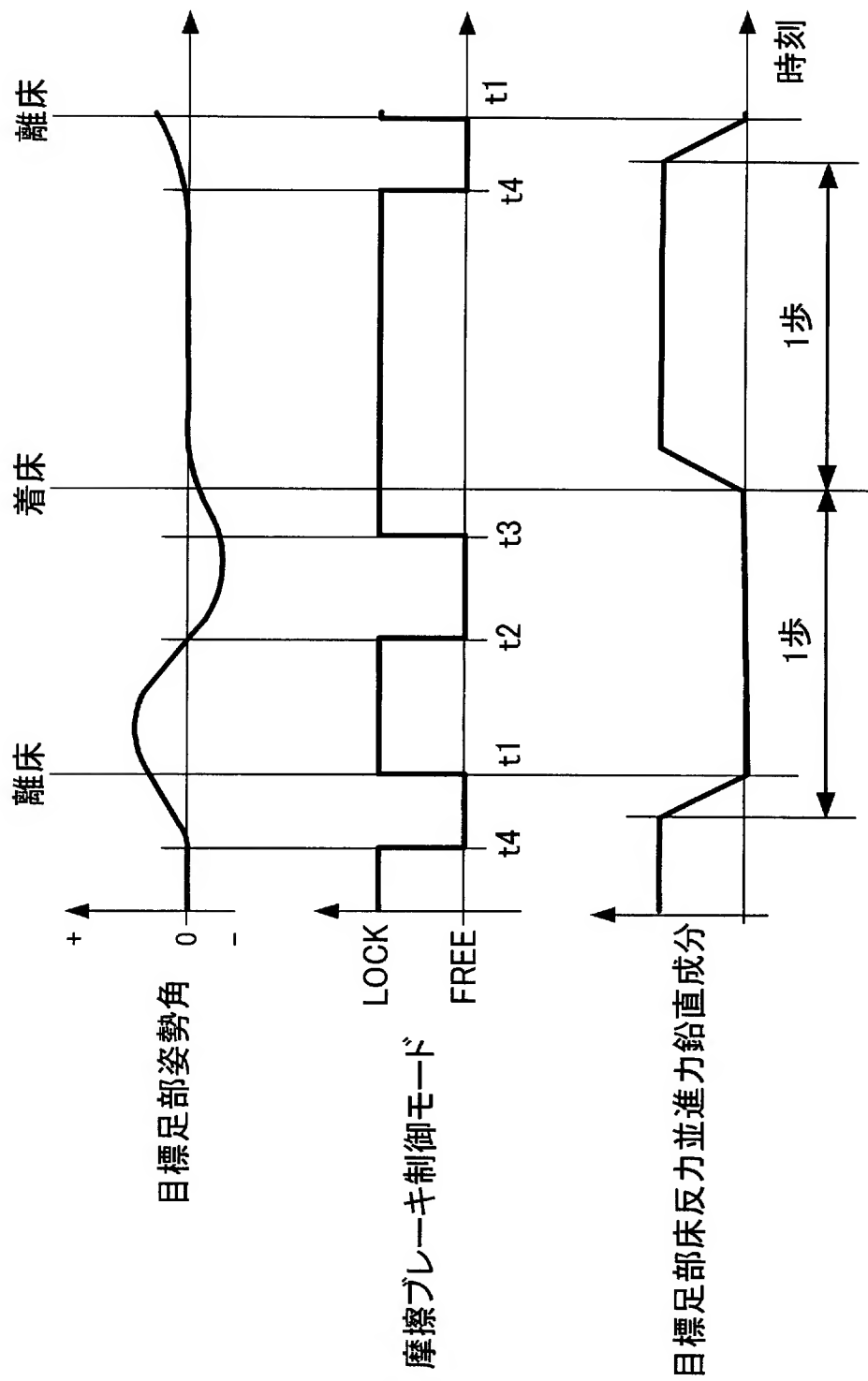
[図19]



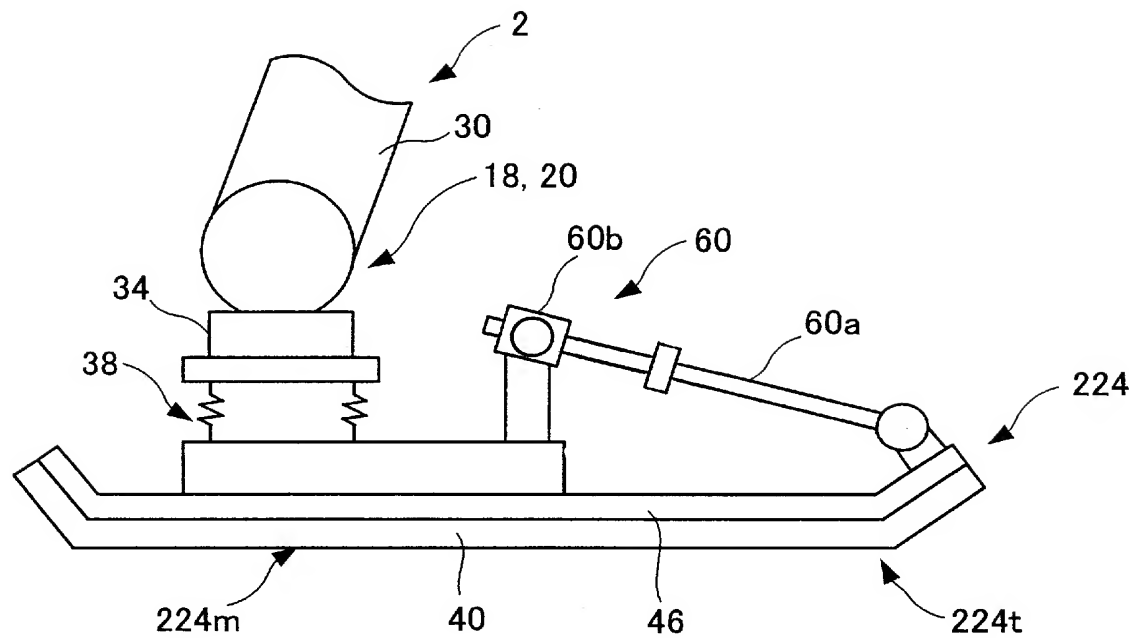
[図20]



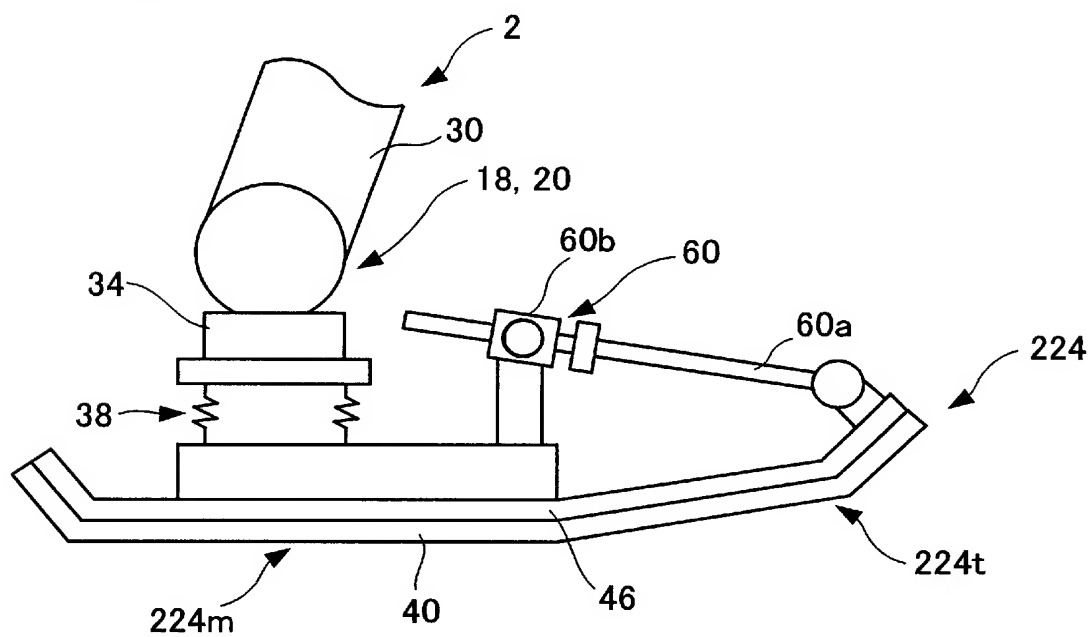
[図21]



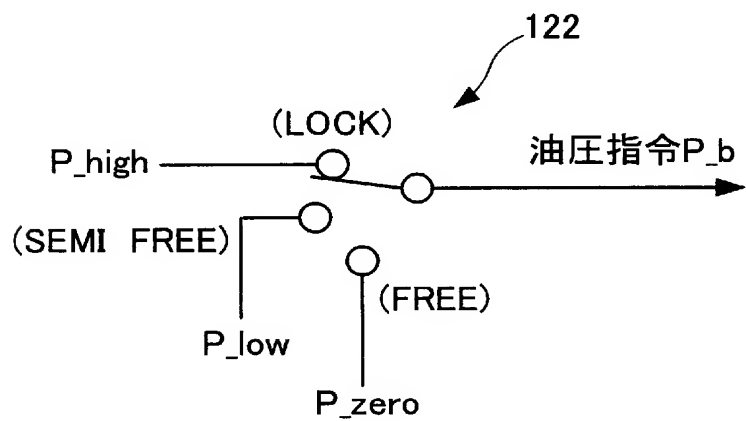
[図22]



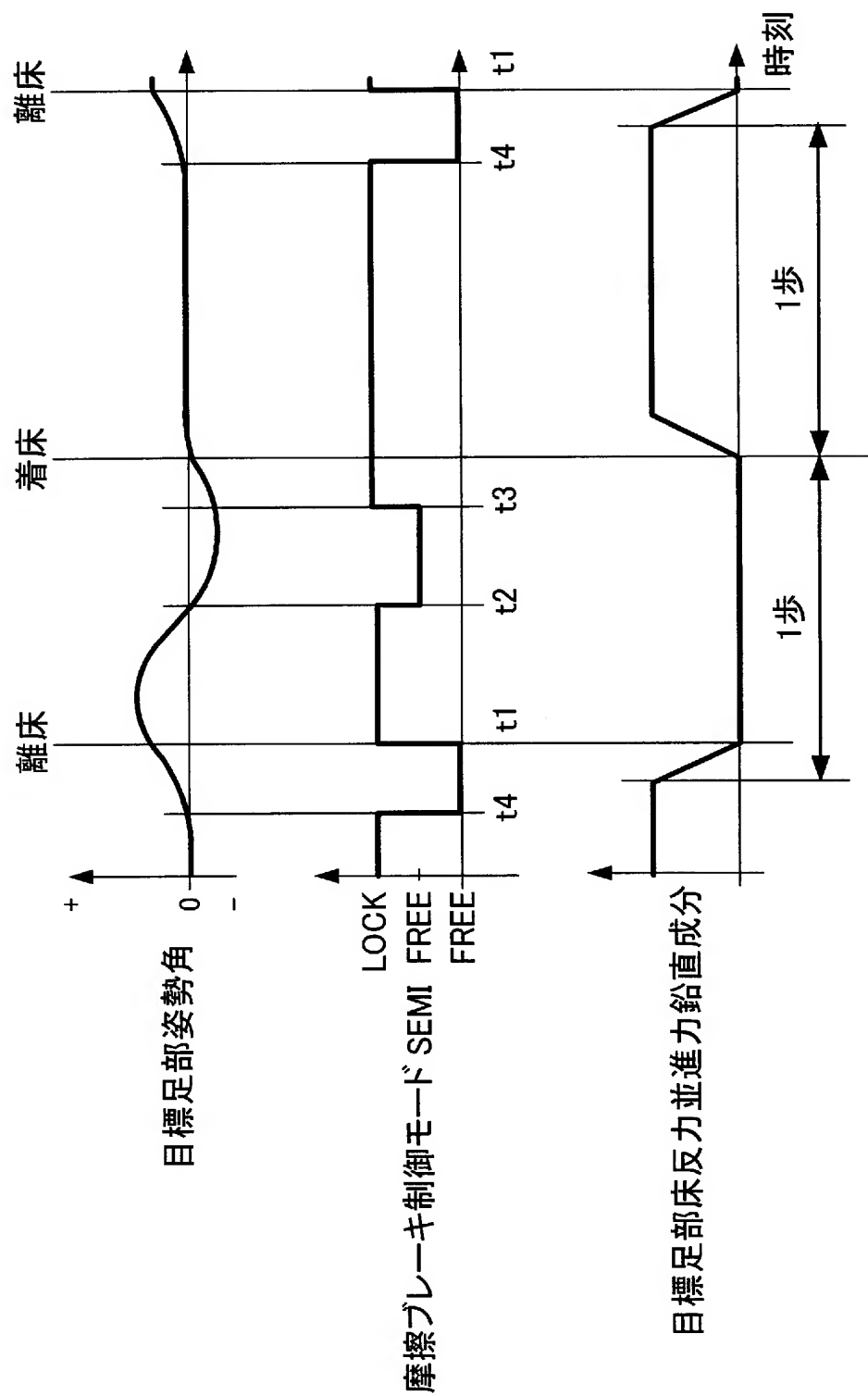
[図23]



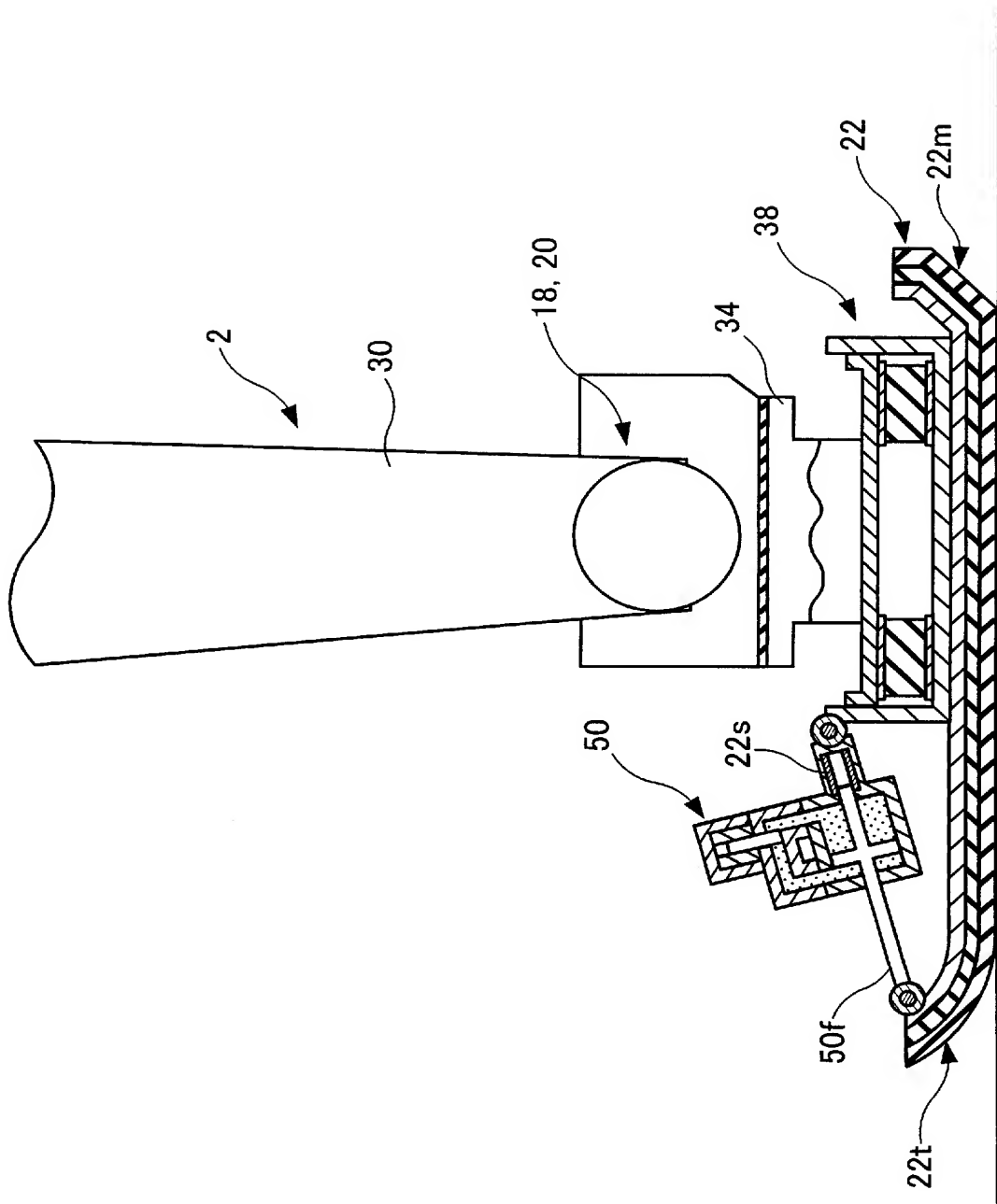
[図24]



[図25]

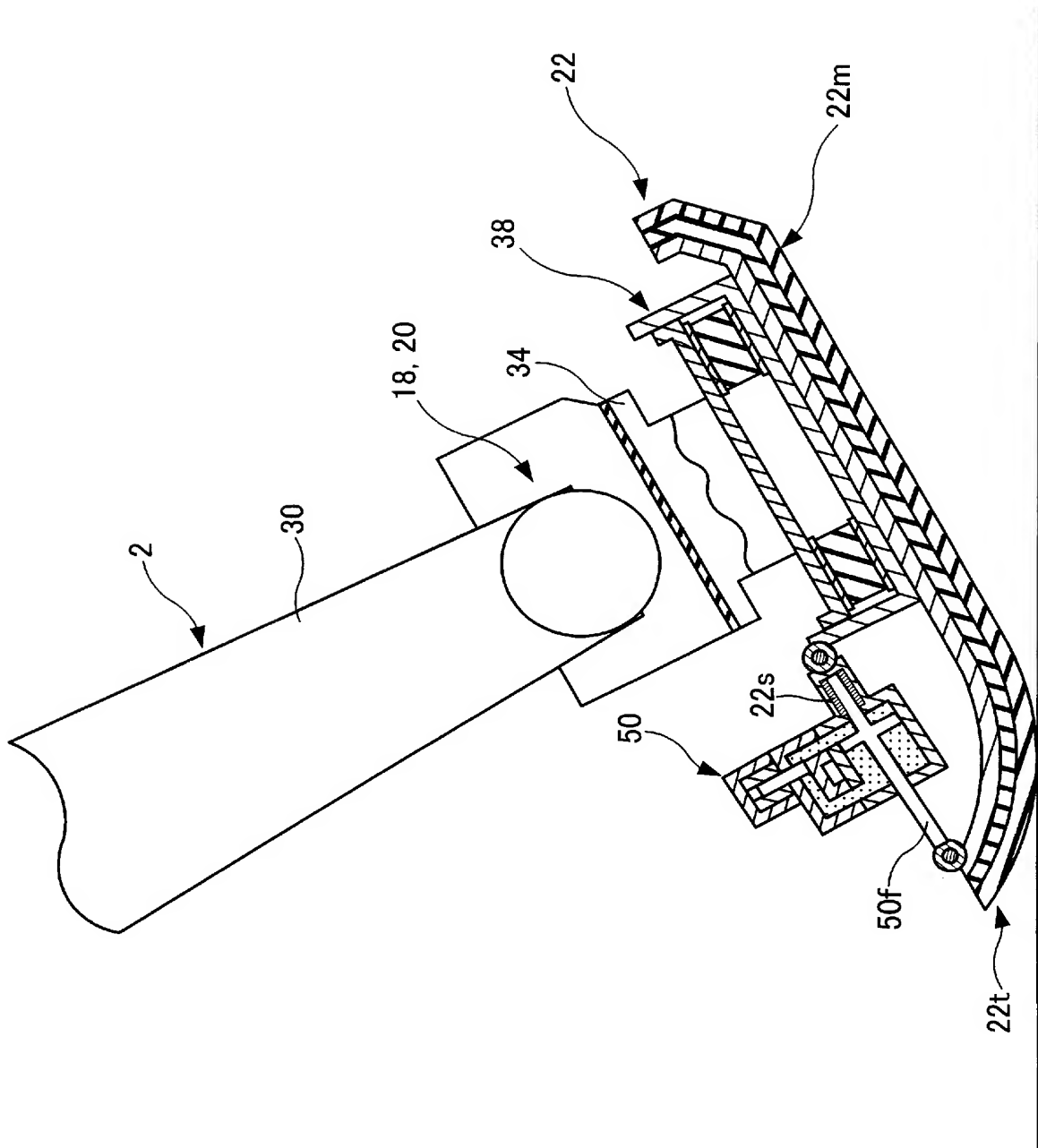


[図26]

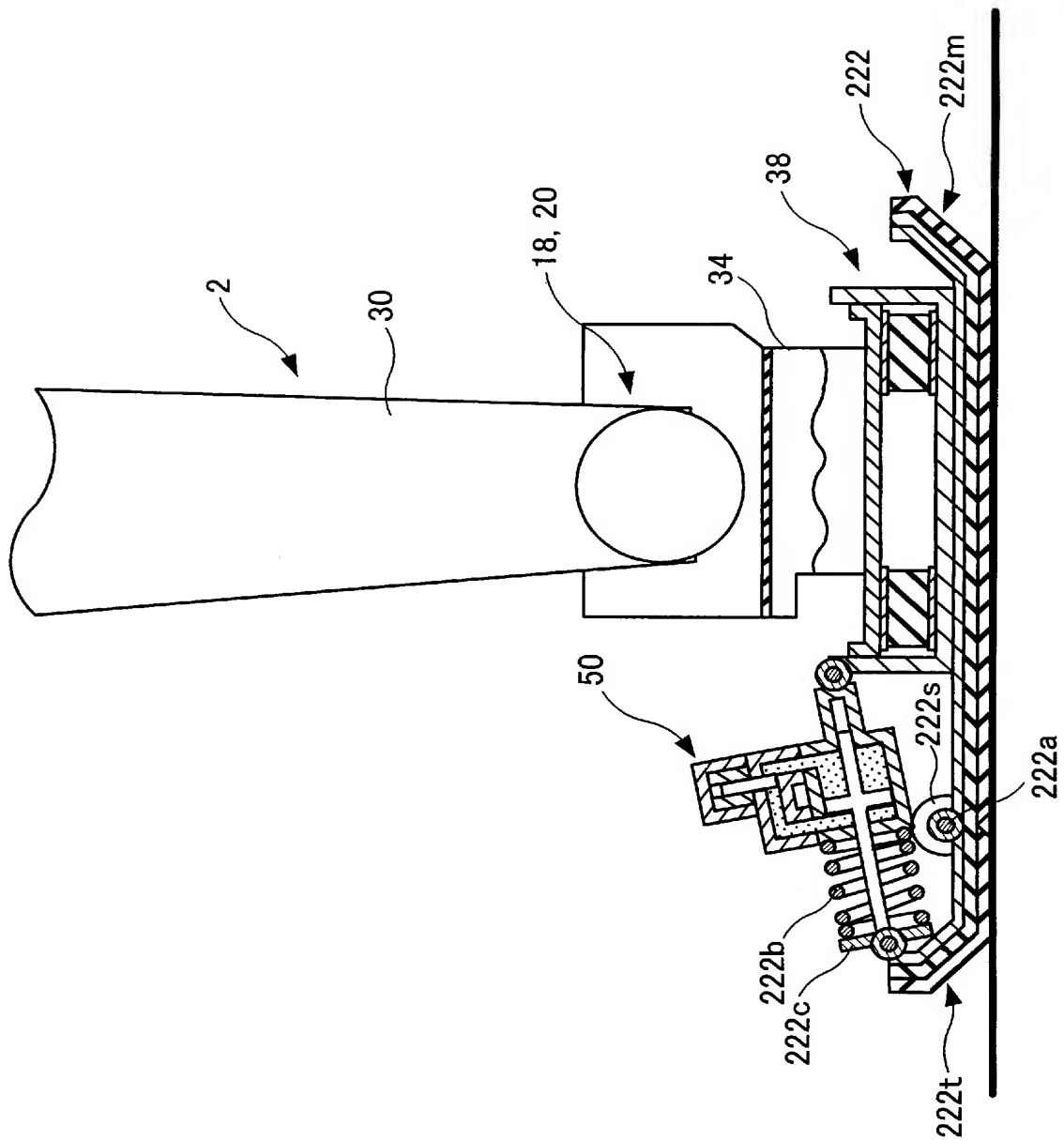




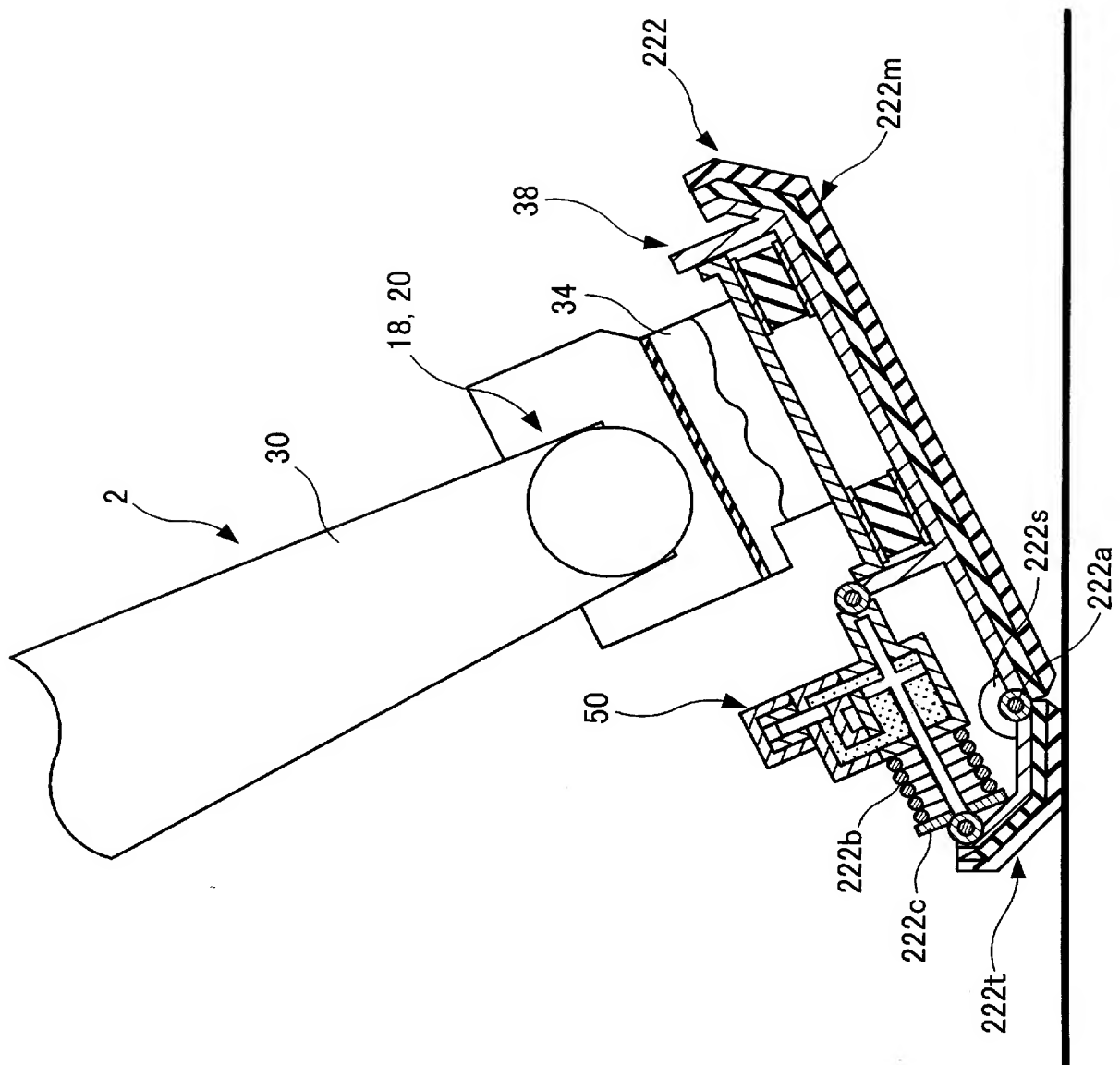
[図27]



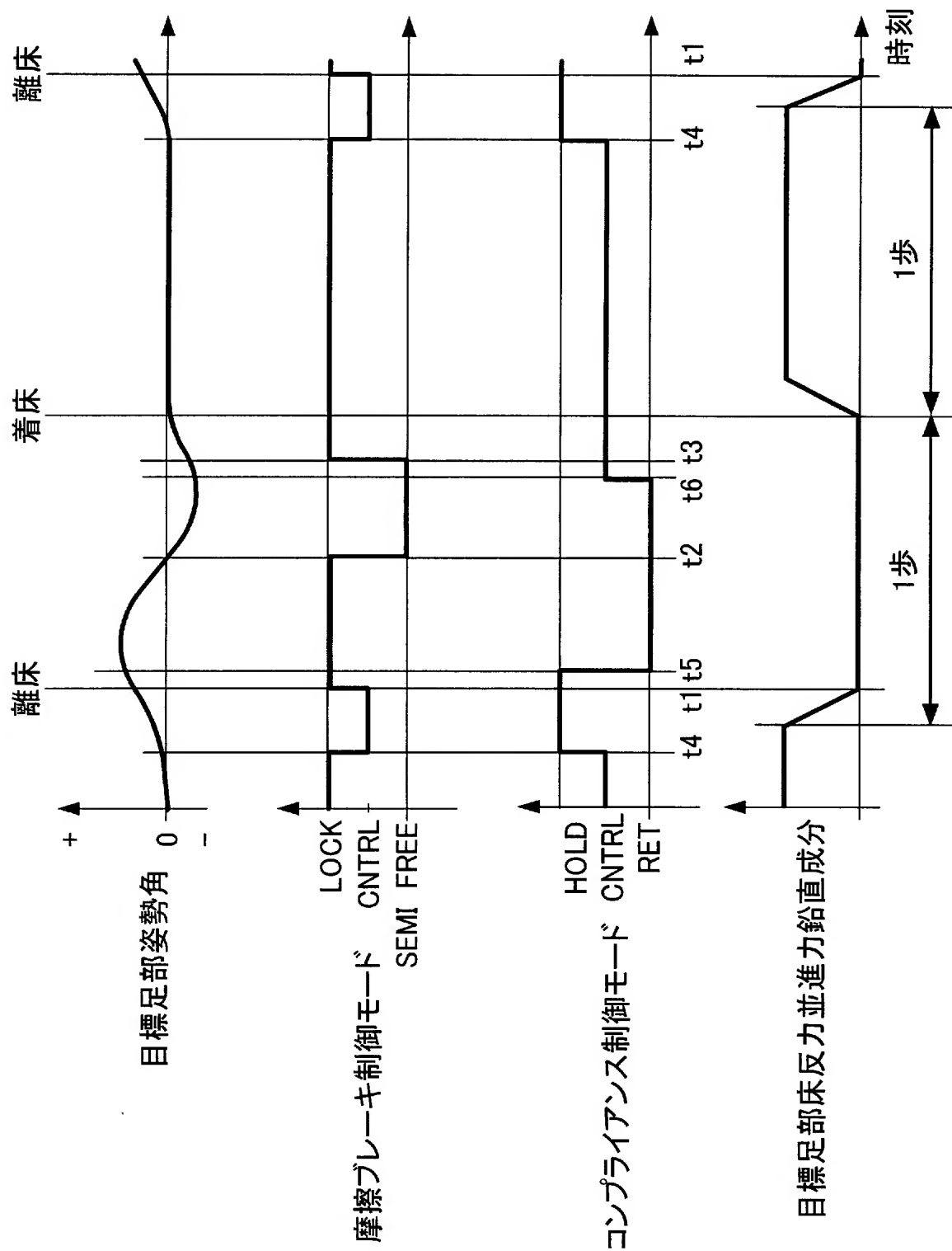
[図28]



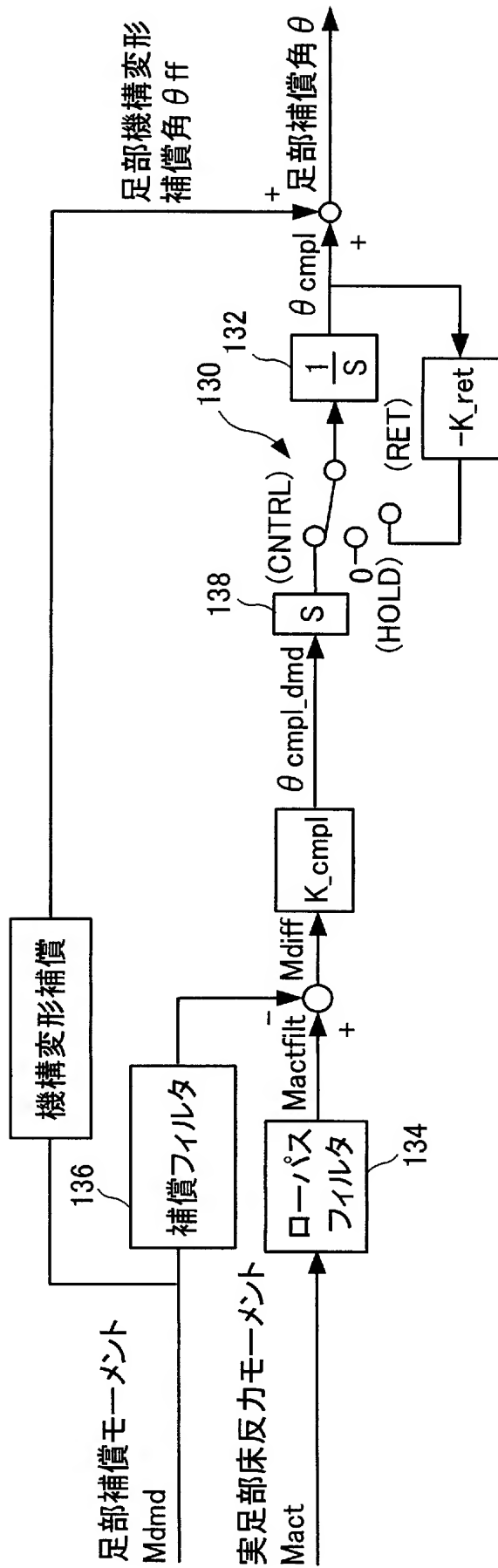
[図29]



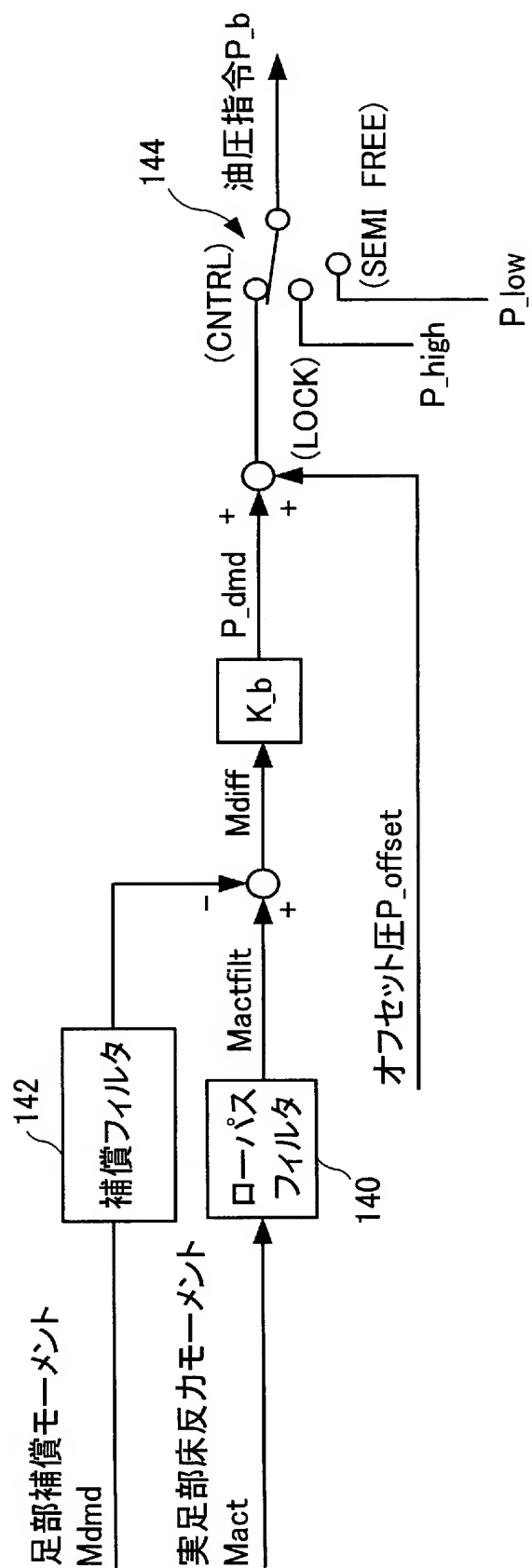
[図30]



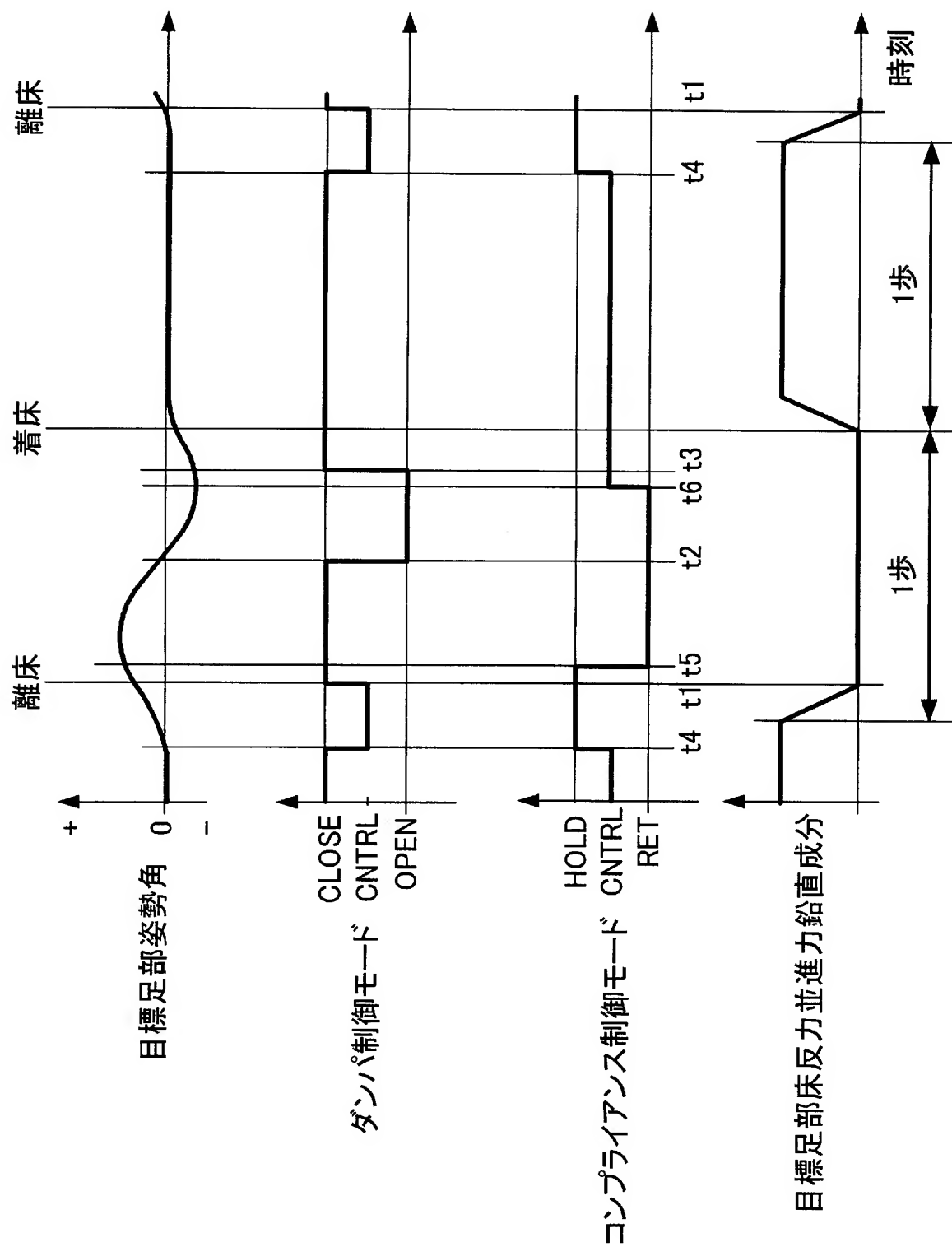
[図31]



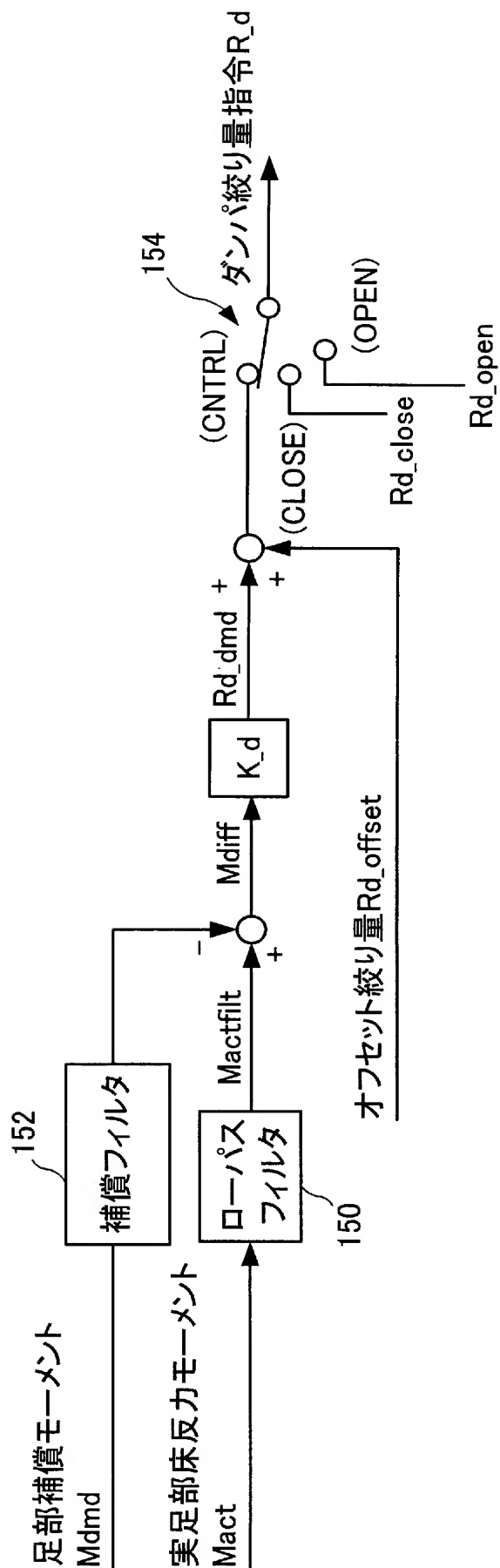
[図32]



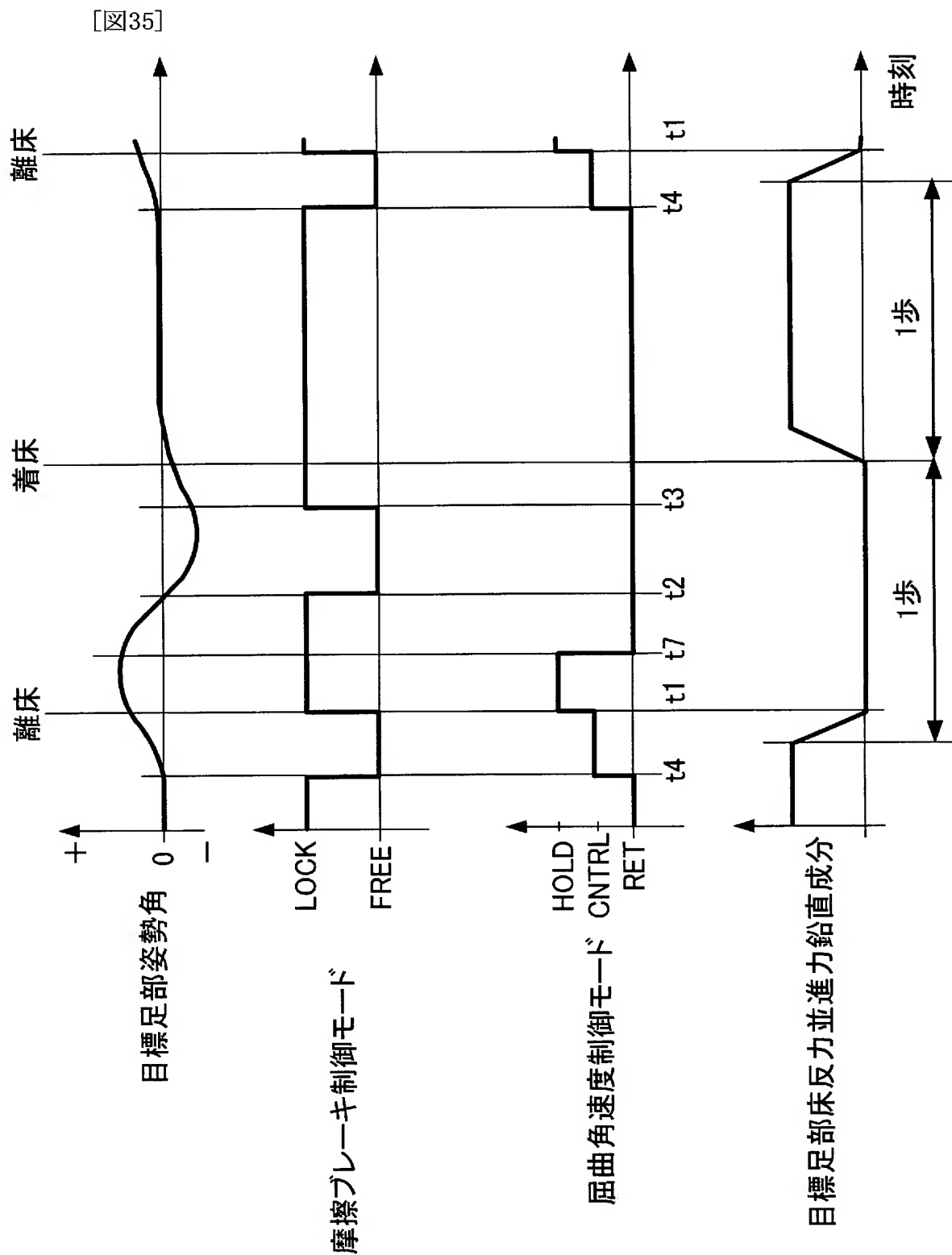
[図33]



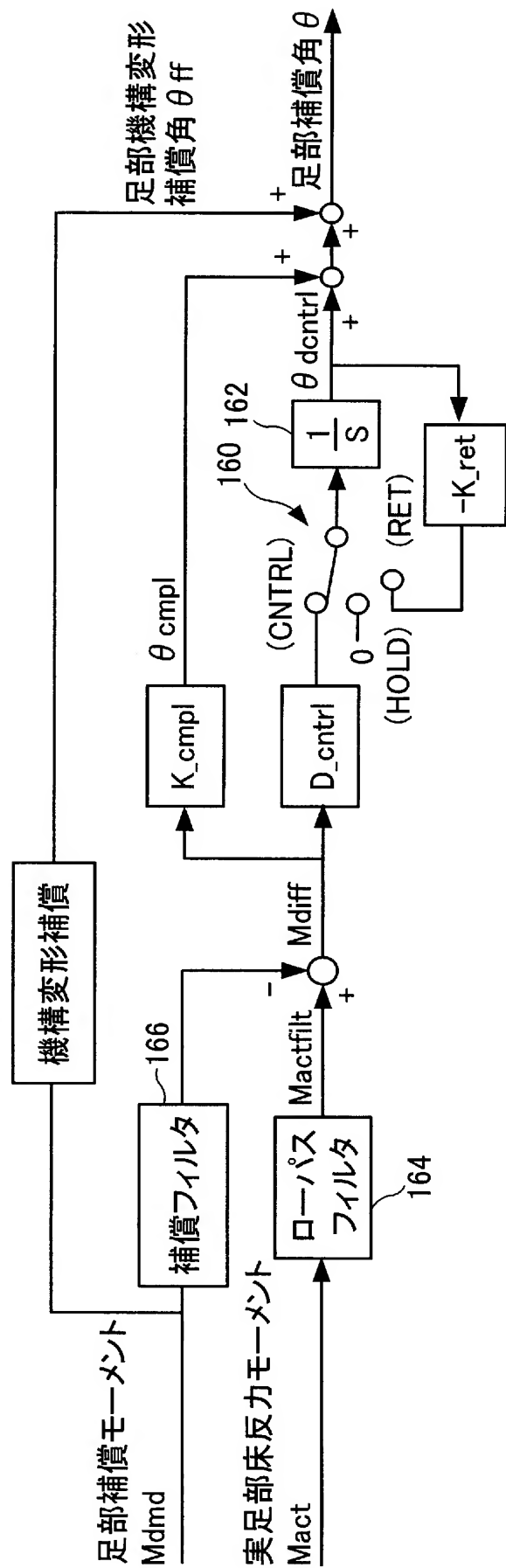
[図34]



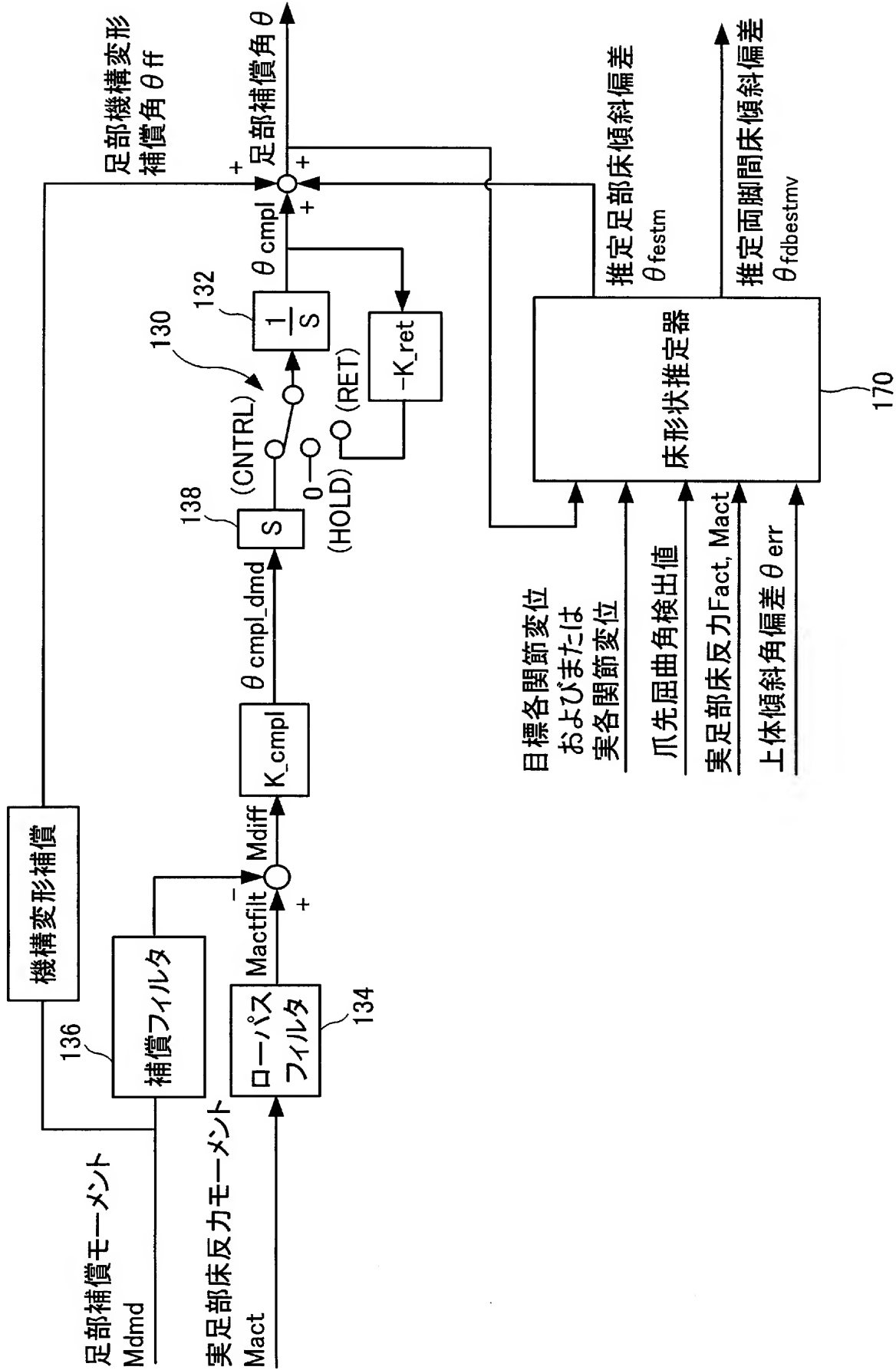




[図36]



[図37]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/002561

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int .Cl<sup>7</sup> B25J5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int .Cl<sup>7</sup> B25J1/00-21/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JICST FILE (JOIS)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2003-236777 A (Seiko Epson Corp.), 26 August, 2003 (26.08.03), Full text; all drawings (Family: none)	1, 2, 4-7 3, 8-19
A	JP 9-94785 A (Honda Motor Co., Ltd.), 08 April, 1997 (08.04.97), Par. Nos. [0136] to [0140]; Figs. 37 to 39 & US 5808433 A1 & EP 765797 A2	1-19

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

### \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
09 May, 2005 (09.05.05)

Date of mailing of the international search report  
24 May, 2005 (24.05.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> B25J5/00

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> B25J1/00-21/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICST ファイル (JOIS)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X A	JP 2003-236777 A (セイコーエプソン株式会社) 2003.08.26, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 2, 4-7 3, 8-19
A	JP 9-94785 A (本田技研工業株式会社) 1997.04.08, 【0136】-【0140】, 図 37-39 & US5808433 A1 & EP 765797 A2	1-19

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09.05.2005

国際調査報告の発送日

24.05.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

八木 誠

電話番号 03-3581-1101 内線 3321

3U

9348